

Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Modelado y recreación virtual del caza Vought  
Corsair F4U

Autor: José Matías Fernández Velasco

Tutor: Francisco Andrés Valderrama Gual

Dep. Ingeniería Gráfica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016



Departamento de  
**Ingeniería Gráfica** ETSI / ETSIA / ETSIE /



Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

# **Modelado y Recreación Virtual del Caza Vought Corsair F4U**

Autor:

José Matías Fernández Velasco

Tutor:

Francisco Andrés Valderrama Gual

Profesor titular

Dep. de Ingeniería Gráfica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016





Trabajo Fin de Grado: Modelado y Recreación Virtual del Caza Vought Corsair F4U

Autor: José Matías Fernández Velasco

Tutor: Francisco Andrés Valderrama Gual

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2013

El Secretario del Tribunal

*A mis Padres,  
Hermano y Abuelos.  
Por ayudarme a llegar  
hasta aquí.*



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCION .....	Pg 11
2. OBJETO DEL PROYECTO .....	Pg 11
3. ELECCIÓN DE SOFTWARE CAD .....	Pg 11
4. PUESTA A PUNTO DE LA DOCUMENTACION .....	Pg 12
5. VOUGHT F4U CORSAIR .....	Pg 13
6. METODOLOGIA DE TRABAJO .....	Pg 14
7. FUSELAJE PRINCIPAL .....	Pg 16
8. CUBIERTA FUSELAJE .....	Pg 97
9. SUPERFICIES DE CONTROL .....	Pg 108
10. TREN DE ATERRIZAJE .....	Pg 142
11. GRUPO MOTOR .....	Pg 169
12. COCKPIT .....	Pg 174
13. SISTEMA DE PLEGADO DE LAS ALAS .....	Pg 178
14. TORNILLERIA USADA .....	Pg 179
15. RESULTADO FINAL .....	Pg 181
16. CONCLUSIONES DEL PROYECTO .....	Pg 182
17. RELACIÓN DE PIEZAS MODELADAS .....	Pg 183
18. BIBLIOGRAFÍA .....	Pg 188



## **1. INTRODUCCIÓN**

Se redacta el presente documento como Trabajo de Fin de Grado para la obtención del título de Graduado en Ingeniería de Tecnologías Industriales.

El trabajo ha sido propuesto por el alumno al tutor y, tras su redacción y supervisión, éste da su Vº Bº a su entrega y defensa.

## **2. OBJETO DEL PROYECTO**

El trabajo fin de grado que nos ocupa tratará el modelado y recreación virtual del caza Vought Corsair F4U, un avión utilizado en la Segunda Guerra Mundial. A fin de delimitar el alcance del proyecto, he de mencionar la dificultad que conlleva el modelado de un aparato de este calibre. Un modelado completo y fiable desde todos sus puntos de vista sería objeto de un estudio de ingeniería o a su vez, de un equipo de ingenieros de diferentes disciplinas.

Este trabajo fin de grado tratará el modelado de la estructura principal, la cubierta del fuselaje, el modelado de todas las superficies de control, trenes de aterrizaje, sistemas de accionamiento y partes auxiliares como hélice, cabina u otros mecanismos. Por tanto no será objeto de este proyecto el motor y todas sus partes auxiliares, armamento, depósitos, mecanismos de accionamiento, sistema eléctrico, sistema de telecomunicaciones y detalles estéticos o ergonómicos.

Para el modelado de dicho Avión se ha partido de una documentación obtenida del señor Ian, un coleccionista de Lancashire (Reino Unido). Se trata de un DVD donde aparece planos de ensamblaje y reparación de varias partes y sistemas del Vought Corsair F4U.

## **3. ELECCIÓN DE SOFTWARE CAD**

Para el modelado de un aparato de estas dimensiones existen diversos programas de diseño asistido por ordenador como AutoCad, Catia, MicroStation, SolidWork, SolidEdge, etc. En cualquiera de ellos se podría haber llevado a cabo el modelado de este proyecto, pero sin embargo, dispongo de una amplia experiencia en el software Catia V5 R19 debido a mi colaboración en proyectos como la Formula Student.

Otro motivo por el que se elige este software es por su facilidad de unir piezas que se han fabricado de forma independiente. Aunque el modelado en sí de cada pieza es más complicado que en otros softwares, el ensamblaje de mecanismos por piezas es más intuitivo. Ya que este proyecto consta de 408 partes, este motivo ha sido bastante decisivo a la hora de elegir este programa.

Por último, durante el curso académico pude disfrutar de unas prácticas extracurriculares en la factoría de Renault Spain en Sevilla. El motivo principal por el que fui elegido fue por mis conocimientos sobre Catia, unos conocimientos que no se enseñan en mi grado y que aprendí de forma autodidacta. Por ello, realizar un proyecto tan complejo en un software tan expandido industrialmente supone un valor añadido al currículum profesional.

#### **4. PUESTA A PUNTO DE LA DOCUMENTACIÓN**

Tras unos meses de investigación y búsqueda de información, logré encontrar en una web un grupo de coleccionistas británicos que ponía a la venta una serie de planos escaneados de una multitud de aviones de la Primera y Segunda Guerra Mundial. Una vez me puse en contacto con ellos y me cercioré del contenido de dicha información procedí a su compra. Un mes después, los planos llegaron en el interior de un DVD, pero estos planos no se encontraban ordenados ni clasificados por partes del avión. Además, como veremos durante del modelado del caza, no son planos acotados en su mayoría, sino planos de despiece y vistas generales.

En primer lugar, me dispuse a observar cada uno de los 347 planos que contenía el DVD y clasificarlos por carpetas. Distinguí entre las siguientes partes: Ala, Armamento, Cockpit, Fuselaje, Grupo motor, Sistema hidráulico, Lubricación, Sistema eléctrico, Superficies de mando y control y Tren de aterrizaje.

Durante el proceso de clasificación de cada imagen, observé que estaban divididas en dos o tres partes, probablemente por la limitación del tamaño del escáner donde se digitalizaron. A continuación, y mediante el software de edición de imagen Photoshop, procedí a la unión de todos los planos cuyas parejas identifiqué, alcanzando así 169 planos diferentes. Es importante comentar que los planos están hechos de forma manual debido a la época en la que se diseñó el Vought Corsair donde no existían ordenadores. Aun así, la calidad de los planos es bastante buena.

Ya con la información ordenada, enumeré cada plano con un número de serie que aparecía en el margen superior de cada uno de ellos, intentando así continuar con la misma referencia que usaron sus primeros diseñadores.



## 5. VOGHT CORSAIR F4U

El Vought Corsair F4U es un caza norteamericano usado durante la última fase de la Segunda Guerra Mundial y la Guerra de Corea. El primer caza fue entregado en 1940 y el último se fabricó en 1953, intervalo en el que se fabricaron cerca de 12600 aviones F4U Corsair. Este caza ostenta el título del avión con motor de explosión producido durante más tiempo en la historia de los Estados Unidos.

Este cazabombardero fue uno de los primeros construidos como caza nocturno, con solo cuatro ametralladoras pero equipados con radar, piloto automático y otros mecanismos especiales. Estos fueron los primeros cazas en operar de noche y sobre un portaaviones. Una característica muy importante que se le atribuyó a estos aviones fue el sistema de alas plegable, de forma que ocupaban mucho menos espacio en la cubierta, excepcionales para ser transportados por portaaviones.

Estructuralmente, estos aviones también supusieron un avance tecnológico e ingenieril por el uso de nuevos sistemas y materiales. El centro de las alas estaba fabricado en diferentes partes de aluminio, empleando perfiles de la serie NACA 2300 (National Advisory Council on Aeronautics). La curva de identificación de las alas en su centro fue de 23018 y más al exterior de 23015. Estos aviones portaban combustible en el fuselaje, además de 63 galones en cada ala, portando un total de 363 galones.



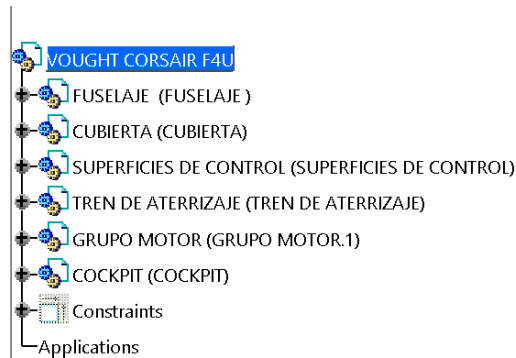
*Fabricación en serie de Vought Corsair F4U*

Actualmente, solo quedan algunos Corsair en restauración o en museos repartidos por todo el mundo, desde Estados Unidos, Austria, Holanda, Francia hasta Brasil, Reino Unido o Corea del Sur.

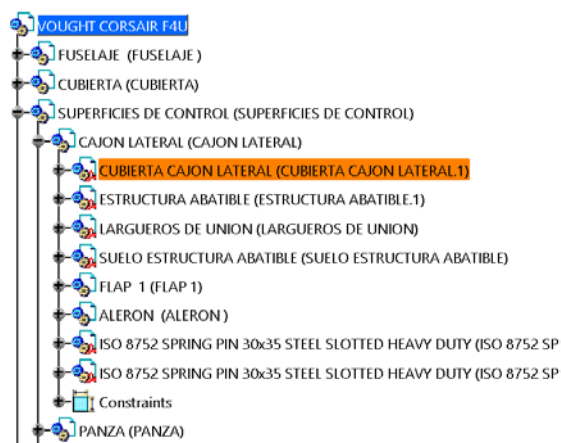
## 6. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Es imprescindible marcar una metodología para trabajar con Catia desde el principio, y más si se trata de una máquina tan compleja y con tantos mecanismos. Primero, debemos identificar cada parte del modelo, cada conjunto, cada subconjunto, cada pieza y cada cuerpo auxiliar que contiene cada pieza.

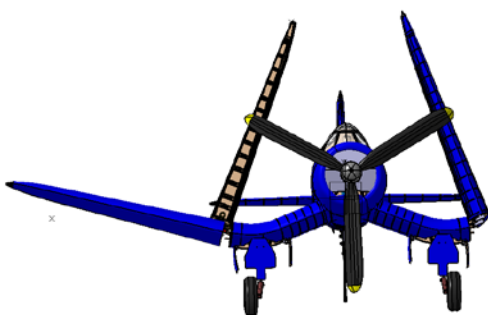
El software Catia te permite colocar cada pieza o part de forma ramificada, o también, como si de una carpeta se tratase, donde vas incluyendo más subcarpetas y a su vez más subcarpetas. A la hora de introducir las piezas que van con cada parte de un mecanismo, debemos meter dicha pieza en el product o carpeta del mecanismo que debe acompañar, ya que cuando vayamos a efectuar algún movimiento, cada pieza debe ser solidaria al sistema o mecanismo para el que fue diseñado. Vemos un ejemplo a continuación:



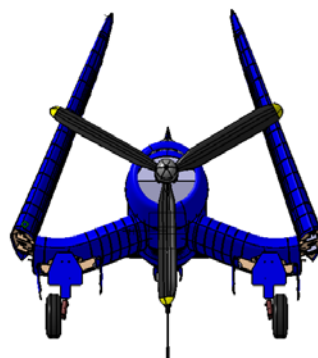
En esta imagen, vemos como hemos organizado en el árbol cada parte del avión de forma similar a como hemos ordenado los planos. De esta forma tenemos más controlada la ubicación de cada pieza.



A continuación, podemos observar como dentro del product 'superficies de control' existen varios subproducts: 'cajón lateral', 'panza', estabilizador vertical', etc. Dentro del product 'cajón lateral' encontramos la 'cubierta del cajón lateral'. Si por un casual, el part de la cubierta del cajón lateral se encontrase en el subproduct 'panza' ésta no giraría cuando fuésemos a plegar el ala. Ocurriría algo así:








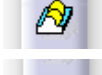







Part 'Cubierta cajón lateral' mal ubicado



Part 'Cubierta cajón lateral' bien ubicado

Al igual que el resto de software de diseño asistido por ordenador, Catia te permite restringir movimientos entre piezas u obligarlas a permanecer relacionadas mediante algún ángulo, coincidencia, concentricidad, etc. Si a la vez que modelas cada mecanismo vas restringiendo su movimiento fielmente, puedes actualizar el ensamblaje y así recuperar la forma inicial del conjunto, en el caso que se hubiese desplazado alguna pieza.

A continuación, reflejaré una serie de herramientas u operaciones que se repetirán en numerosas ocasiones a lo largo del modelado.

-  Pad. Extrusión normal de perfiles.
-  Pocket. Vaciado normal de perfiles.
-  Hole. Taladrado personalizado en superficies.
-  Rib. Extrusión de un perfil sobre una curva.
-  Slot. Vaciado de un perfil sobre una curva.
-  Multi-sections Solid. Creación de sólidos con secciones variables.
-  Removed Multi-sections Solid. Vaciado de sólidos con secciones variables.
-  Mirror. Copia de Products, Parts y operaciones con respecto a un plano.
-  Fill. Rellenado rápido con superficies.
-  Multi-sections Surface. Creación de superficies con secciones variables.
-  Split. Recorte de superficies con superficies auxiliares.
-  ThickSurface. Creación de espesor en superficies.
-  Constraint Defined y Constraint. Creación de relaciones entre geometrías en dos dimensiones.

A lo largo del modelado se hará comparaciones con otros proyectos en los que he trabajado y he usado Catia, para así darnos cuenta de la fidelidad y utilidad del programa en el ámbito ingenieril. Este proyecto supone una herramienta de consulta sobre modelado y diseño avanzado en Catia, por lo que el usuario debe tener una base asentada para poder comprender la totalidad del proyecto.

## 7. FUSELAJE

El fuselaje es una de las partes fundamentales dentro de una aeronave. Está compuesto por varios marcos principales que dividen en secciones el avión, por unas costillas intermedias y unos largueros que unen estas costillas entre sí. La función del fuselaje es análoga a un chasis para los automóviles: soportar y transmitir las cargas sufridas por el entorno durante su funcionamiento, así como soportar el resto de piezas que componen el aparato.

El fuselaje no es más que una estructura, que en el caso que nos ocupa, debe soportar unos esfuerzos torsores y flectores importantes debidos a la flexión de las alas y las irregularidades del vuelo, ya sea por una atmósfera inestable o por el manejo del avión en un momento determinado.

Hay que distinguir entre aviones comerciales y aviones de combate como es nuestro caso, que deben estar diseñados para aguantar altas tensiones provocadas por cambios bruscos en la dirección. Es por ello que veremos a continuación como el fuselaje del caza Vought Corsair F4U está sumamente cargado de largueros y costillas. Aun así, es el predecesor de los aviones diseñados para aterrizaje sobre portaviones, por lo que debía ser unos de los más ligeros de la época ya que la pista de estos barcos es mucho más limitada. Afortunadamente, en el proceso de modelado del fuselaje se tenía bastante información visual bastante útil pero sin muchas cotas, por lo que hemos tenido que aplicar factores de escalar en la mayoría de los planos. Tampoco había información sobre la unión de los marcos y los largueros horizontales ni éstos con los largueros horizontales, por lo que hemos tenido que aplicar algunas hipótesis que explicaremos a continuación.

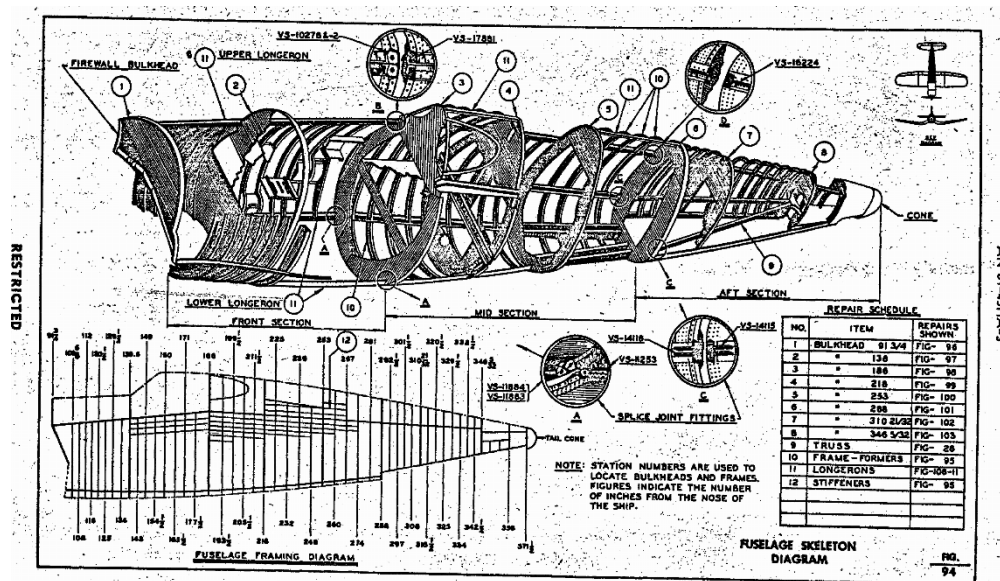
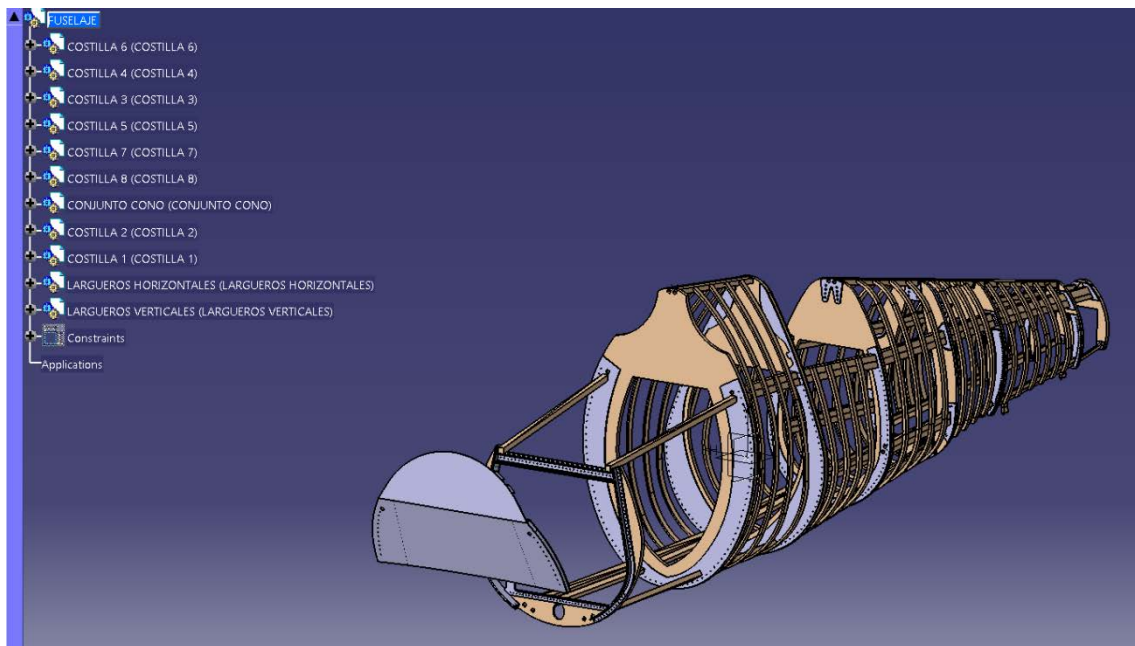


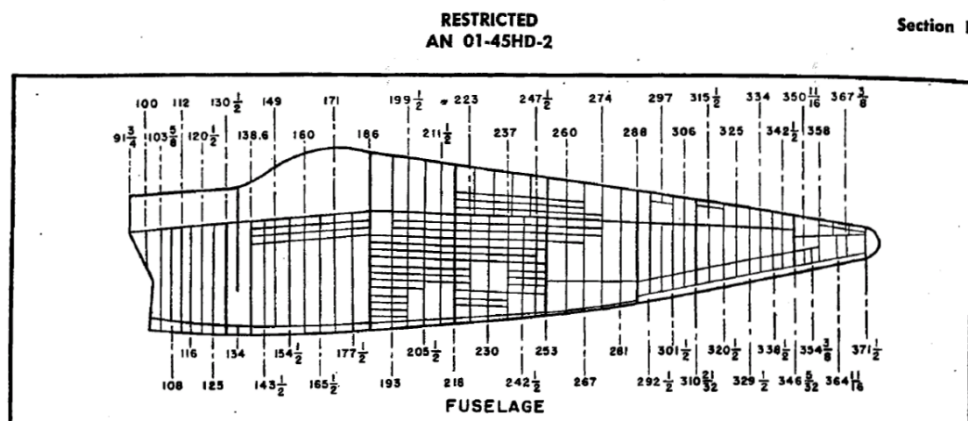
Imagen en perspectiva del fuselaje



Modelo CAD del fuselaje

En nuestro caso, el fuselaje se compone de 6 costillas principales, una última costilla que sujeta la cola y los largueros horizontales y verticales, siendo estos últimos las sub-costillas situadas entre las costillas principales.

Para conocer la situación de cada una de estas costillas disponemos de un plano el cual marca la distancia con respecto al morro del aparato. Ya que el modelado del cono de la hélice será de las últimas operaciones, comenzaremos por una costilla cualquiera e iremos situando relativamente el resto de costillas con respecto a esta primera. Con respecto a los largueros horizontales no hemos tenido más remedio que colocarlos lo más repartidos posible, de forma que la estructura conservase la simetría y luego funcionalmente repartiese las cargas de forma homogénea.

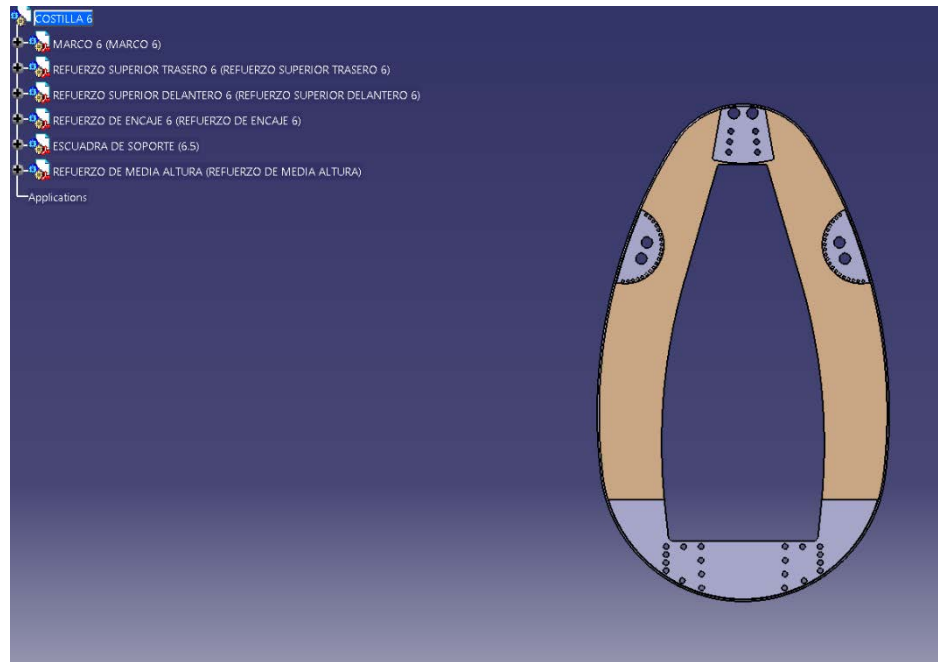


Plano de situación de todas las costillas y largueros verticales



## 7.1 Costilla 6

Comenzamos por la costilla número 6 debido a que es la costilla mejor representada en los planos. Conviene comenzar por una pieza donde tengamos pocas dudas en cuanto a su interpretación, de forma que podamos tomar una dinámica de trabajo y buscar un protocolo a la hora de modelar estas piezas. Cada una de ellas se divide en el marco central y los refuerzos del contorno, que darán más rigidez a la estructura y servirán de unión entre marcos y largueros horizontales.

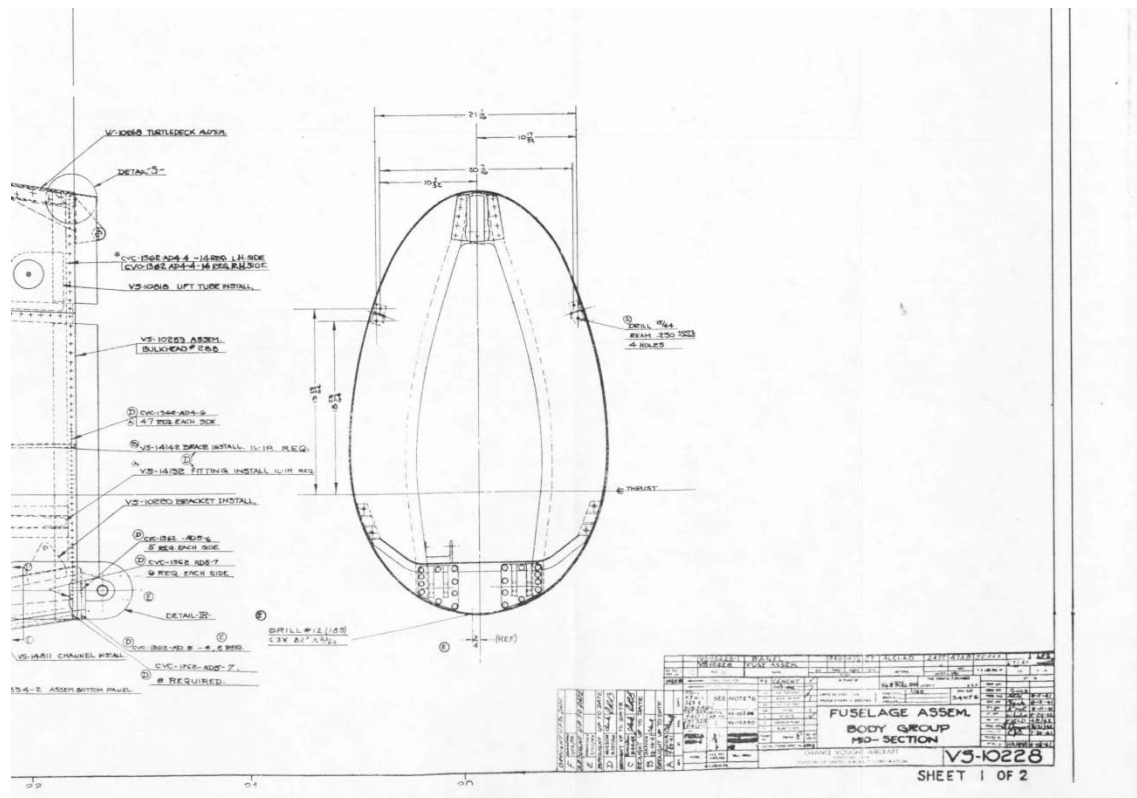


*Costilla 6 completa*

Un dato muy importante será tener en cuenta una referencia en el plano vertical, paralelo a todas las costillas. Llamaremos a la línea horizontal que pasa por el centro de cada costilla *Airplane Reference*, la cual es la encargada de situar las coordenadas globales Y y Z de cada costilla. La coordenada X será impuesta a cada una al final del modelado de todas estas costillas. Esta *Airplane Reference* se ve como la intersección de las líneas perpendiculares que se observan en cada plano.


### 7.1.1 Marco 6

Para el marco 6 partimos de unos planos que no contienen información sobre el tipo de figura geométrica o cotas sobre los centros o tangencias de las posibles circunferencias que lo componen. Debido a ello, tendremos que usar herramientas de dibujo e imaginación para intuir un modelo lo más preciso posible.

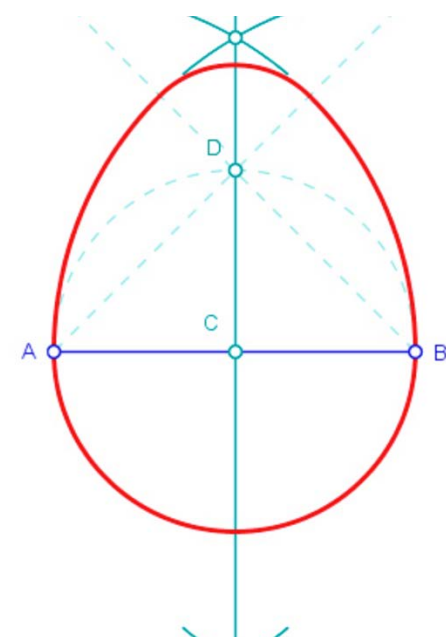


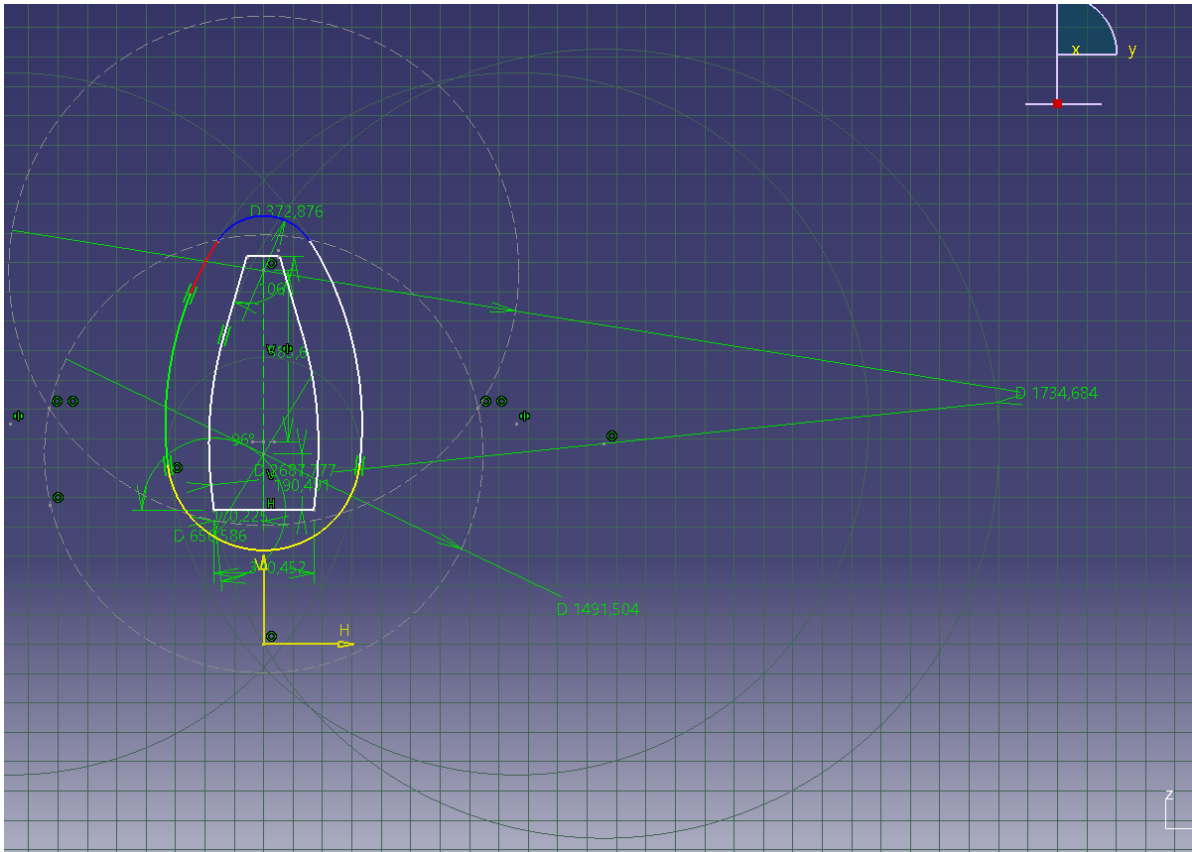
Como se observa en el plano, solo disponemos de las distancias entre las uniones del marco con los largueros, así que usando estas longitudes e imprimiendo en un A4 obtenemos un factor de escala para ese plano impreso de 8,77.

A continuación podemos observar que se aproxima muy bien a un ovoide, por lo que continuaremos por esta hipótesis topológica. Intentando buscar la situación de los centros del ovoide llegamos a la conclusión de que no es exactamente un ovoide de tres centros, por lo que usando tangencias y buscando centros a través de las perpendiculares de dos arcos contiguos encontramos que nuestro marco se asemeja mucho más a un ovoide de cuatro centros.



Es decir, además de las circunferencias de los dos extremos del ovoide, los laterales tangentes a estos dos están compuestos por dos circunferencias tangentes.

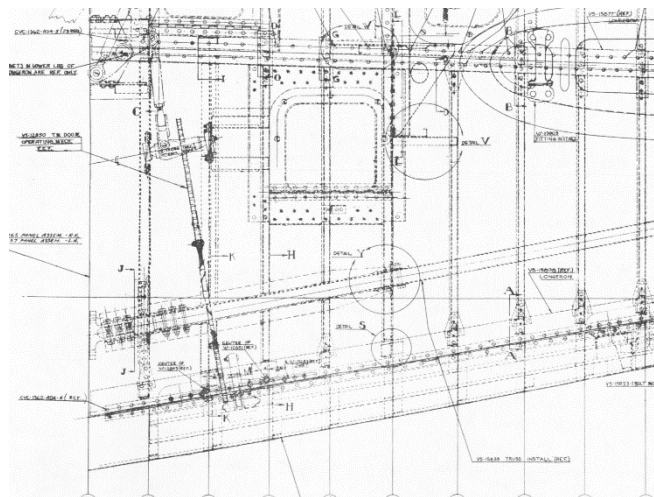




Sketch del marco 6

En la imagen superior se pueden ver las cuatro circunferencias diferentes que componen nuestro marco con forma de ovoide. Los diámetros de las circunferencias están tomados escalando las medidas realizadas físicamente en el plano impreso.

Otro tema igual de importante que la geometría bidimensional del marco es el espesor del mismo. Esta información tampoco se encuentra explícitamente en los planos, por lo que debemos usar la misma técnica de medición y escalado.

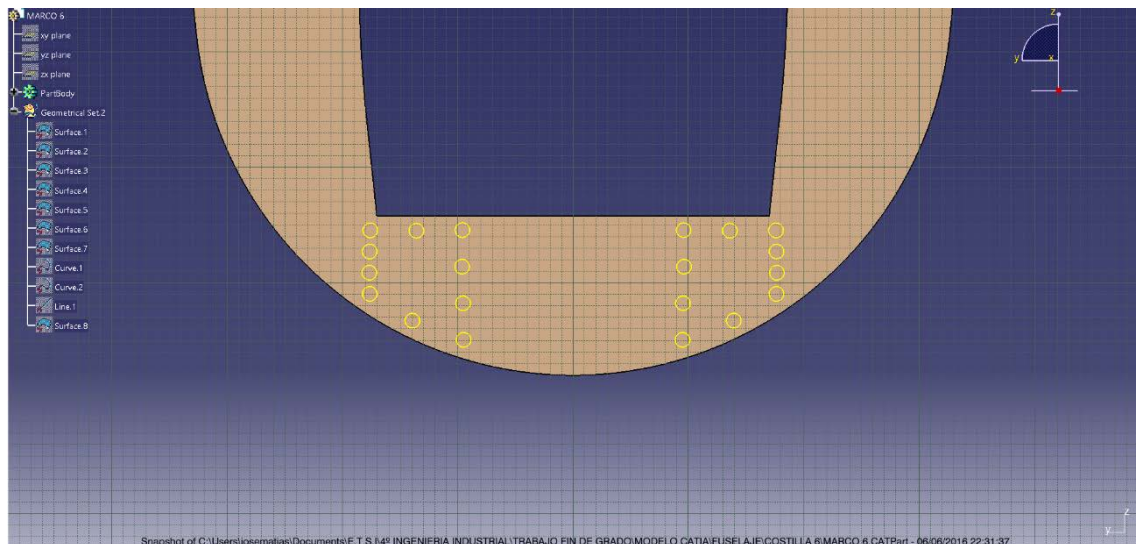


Plano vista lateral del fuselaje



Usando el plano anterior con un factor de escala de 8,77 mm y midiendo sobre papel aproximadamente 3 mm obtenemos un espesor aproximado de 26,31 mm por cada costilla. Este valor lo repetiremos a lo largo del apartado del fuselaje para el resto de costillas y largueros verticales.

Finalmente, usando la operación Pad, la cual te permite extruir el sketch dibujado, modelamos el sólido marco 6. A continuación llevamos a cabo los taladros que servirán para atornillar los refuerzos y largueros horizontales. En este caso, en el plano volvemos a escalar dándonos un diámetro de taladro de aproximadamente una pulgada. Por último, realizamos un pocket de los taladros que unirán el refuerzo inferior con el marco. Para ello proyectaremos el contorno de los refuerzos y eliminamos lo que no nos interesa. De esta forma ya tenemos la primera parte del modelo del marco 6.



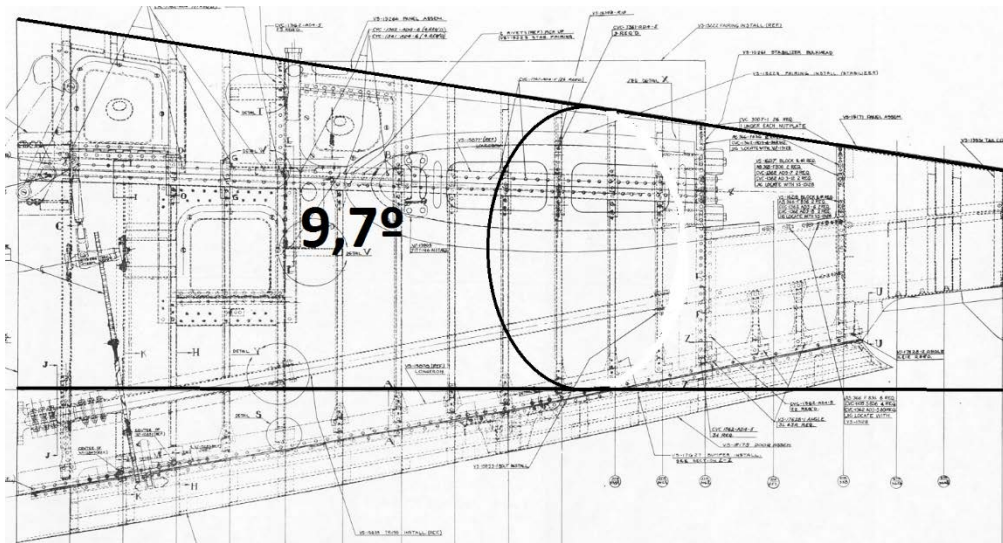
*Proyección de los taladros de los refuerzos*

Un detalle que debemos tener en cuenta es que la extrusión del marco es totalmente horizontal. Esto es importante, ya que debería mantener una tendencia cónica. Esto es debido a que el avión no es cilíndrico, sino que el marco 6 y sucesivos con más estrechos mientras que los posteriores son más anchos. Este detalle provoca que debamos adecuar cada marco a la pendiente que tiene el fuselaje. Mediante la operación de chamfer llevaremos a cabo la adaptación del marco a la cubierta que haremos más adelante.



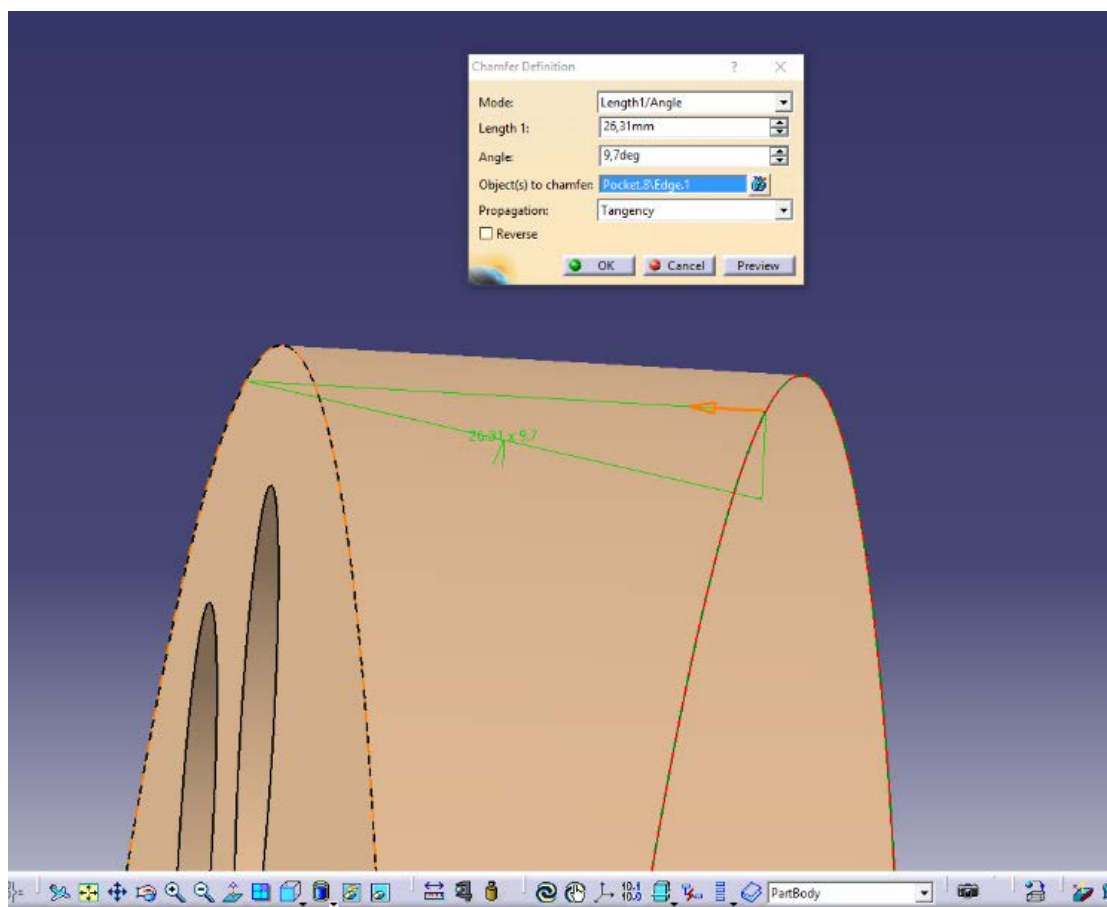
*Icono de la  
operación de  
achaflanado*

Para averiguar el ángulo que debemos introducir al chaflán, usamos trigonometría en el siguiente plano.



Ángulo chaflán de los marcos

Como no puede quedar un escalón en el filo del marco, es decir, debe ser una pendiente de 9,7°, colocamos como longitud del chaflán el espesor del marco, 26,31 mm.



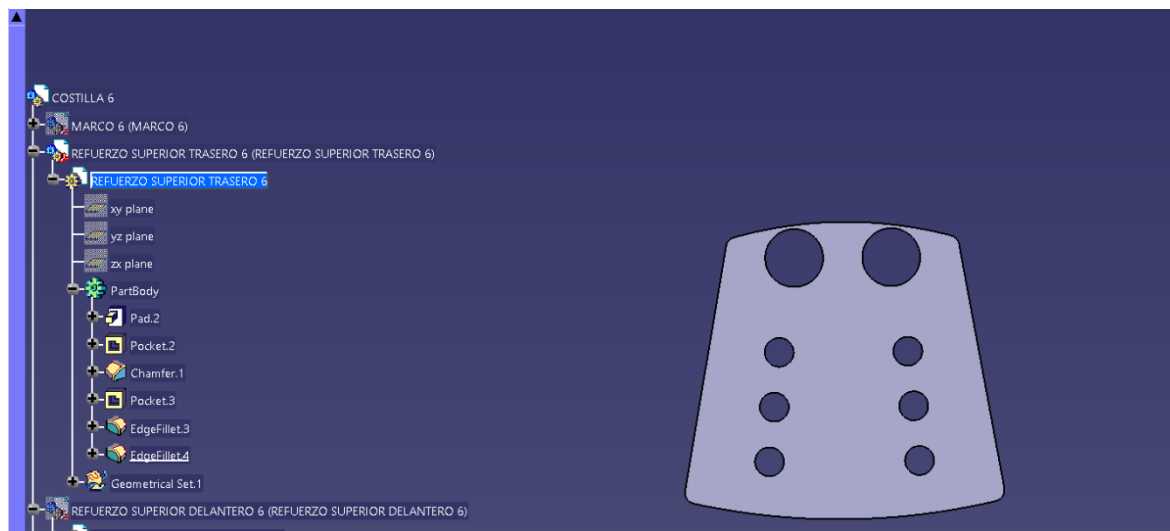
Operación de achaflanado

### 7.1.2 Refuerzo superior trasero 6

Este refuerzo será el que una los largueros superiores entre los dos marcos vecinos. El sistema es el siguiente: la chapa es atornillada al larguero y posteriormente ésta es unida mediante remaches al marco. El modelado es similar al marco. Primero escalamos desde el mismo plano usado para el marco 6 y luego mediante la operación Pad extruimos la pieza.



Sketch para el refuerzo superior

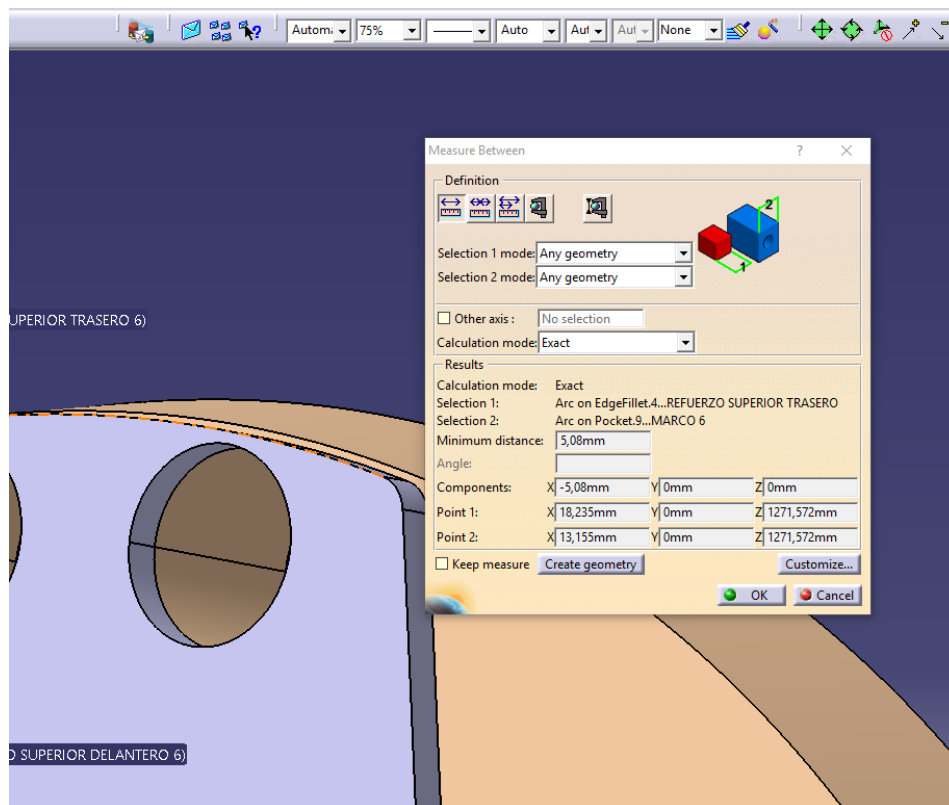


Refuerzo superior trasero

Como se puede ver, los taladros más pequeños de 1/4" (6,35 mm) serán los que servirán a los remaches mientras que los mayores de 1" (25,4 mm) serán los que alojarán los tornillos asignados a los largueros horizontales. Se supone un espesor de 1/5" (5,08 mm) como una medida normalizada de la época y consistente con la pieza y su función.

### 7.1.3 Refuerzo superior delantero 6

Este refuerzo es similar al anterior, pero teniendo en cuenta que está situado en una cara con mayor superficie que la trasera. En este sentido, se hace una proyección del anterior pero modificando la parte superior para que tenga una mayor área de contacto. Es importante observar como los refuerzos tienen un margen de 5 mm sobre el filo del marco. Esta decisión se toma para evitar que dos superficies que no están atornilladas entre sí estén en constante fricción. Elegimos el mismo espesor ya que seguimos careciendo de información al respecto

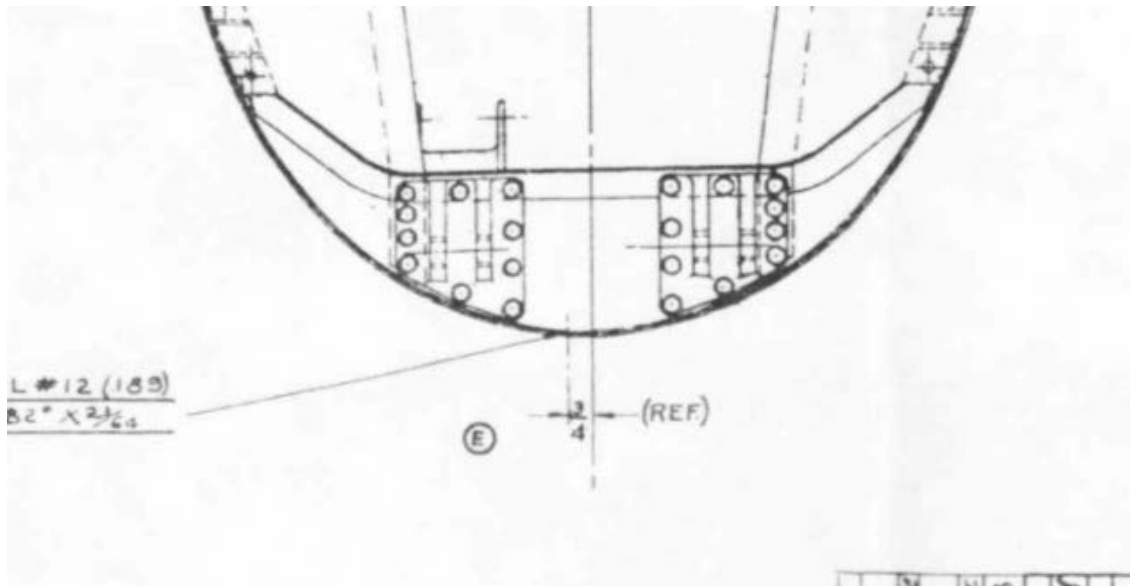


*Margen entre el marco y el refuerzo*

### 7.1.4 Refuerzos de encaje 6

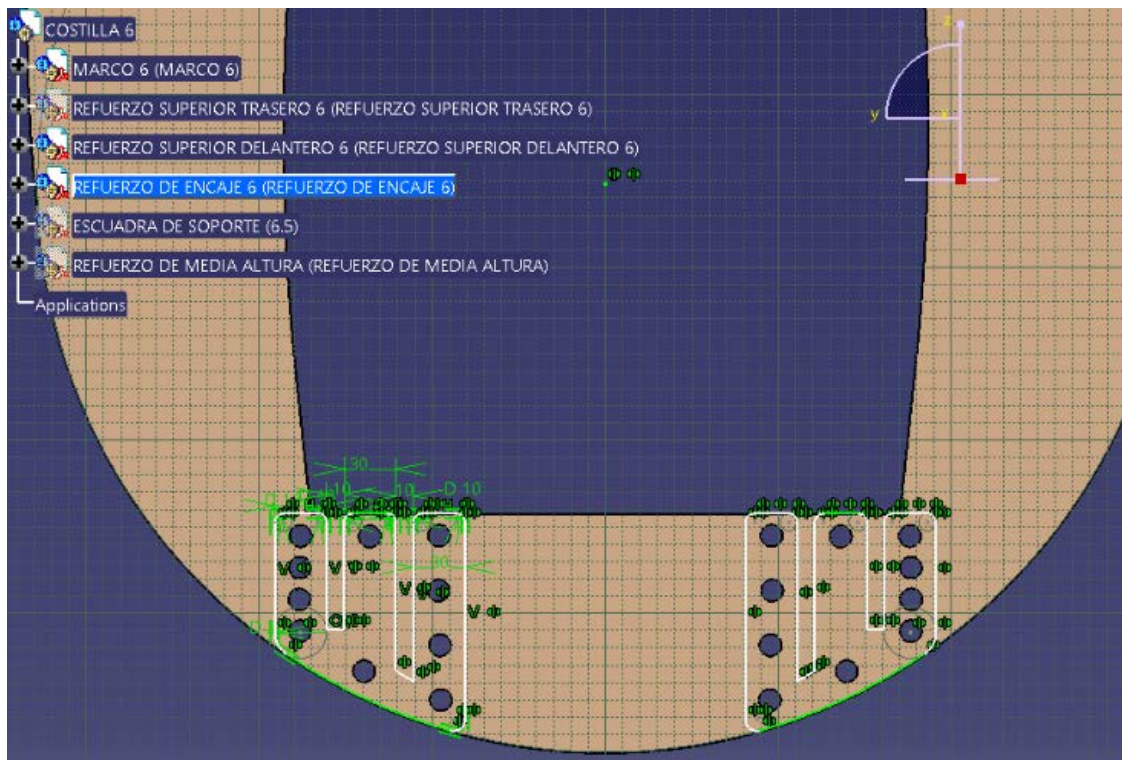
Estos refuerzos tendrán la función de unir los largueros horizontales inferiores, que serán de mayor espesor que el resto. Por ello, deben ser unos refuerzos dobles y con mayor número de remaches. Continuamos usando el plano del marco 6.





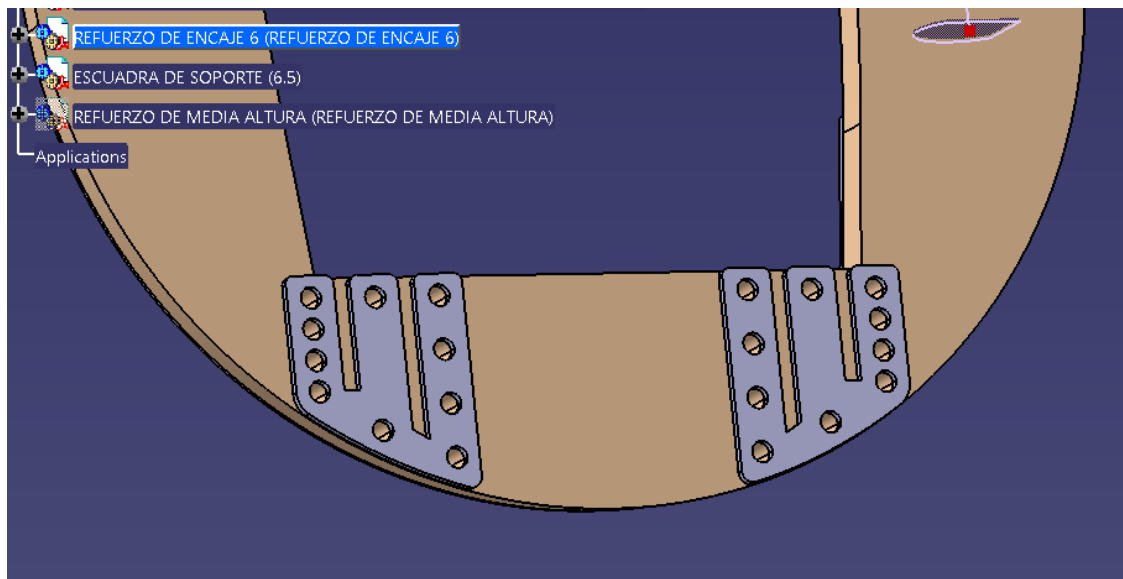
*Plano de refuerzos de encaje*

Continuamos con la misma temática. Seguimos sin tener cotas verdaderas por lo que volvemos a medir y usar el factor de escala de 8,84 usado en este plano. Repetimos la operación de Pad después de haber dibujado el Sketch.



*Sketch refuerzo de encaje*

Entre esos huecos visibles irán alojadas las vigas más gruesas del caza, que serán las que soporten en mayor medida los esfuerzos sufridos en la parte trasera del avión.

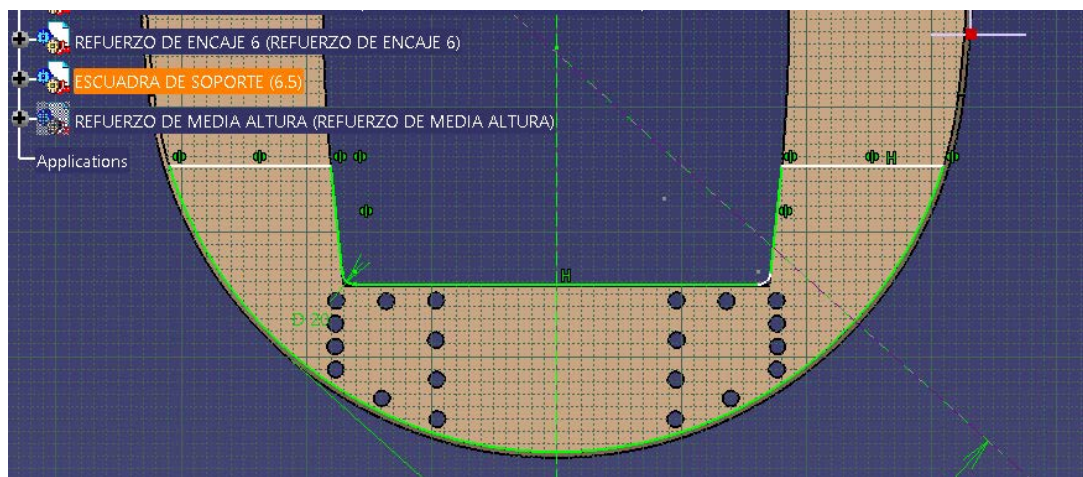


*Refuerzo de encaje modelado*

Esta vez es más sencillo de modelar, ya que podemos apoyarnos en el contorno del marco. Seguimos aplicando el mismo criterio de dejar un margen de unos 5 mm desde el contorno del refuerzo al contorno del marco.

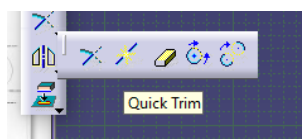
#### 7.1.5 Escuadra soporte

En esta escuadra, situada en la parte trasera inferior del marco, es donde irá alojado el mecanismo que acciona el tren de aterrizaje trasero, o patín de cola.

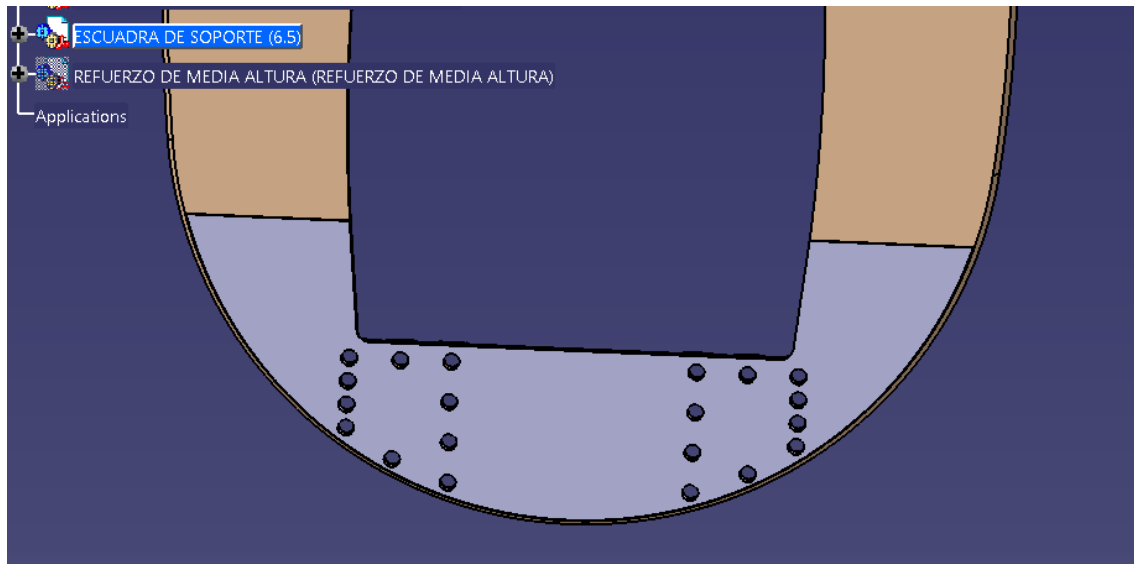


*Sketch escuadra de soporte*

Como observamos en el sketch, nos apoyamos en el marco de atrás para hacer el contorno de la pieza a extruir. Primero proyectamos el marco completo y luego usamos la operación Trim sobre unas líneas horizontales que delimitan la extensión de la pieza.



*Operación de Quick Trim*

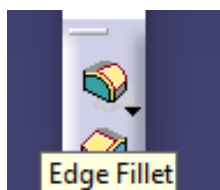


*Escuadra de soporte*

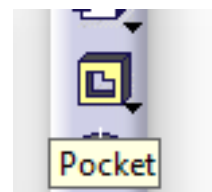
Tras haber proyectado los taladros del refuerzo de encaje, hacemos una operación de Pocket. Para acabar, procedemos al redondeo de aristas con la operación de acabado Edge Fillet. Esta operación se suele usar para evitar concentradores de tensiones en esquinas cerradas y redondear filos vivos que pueden provocar cortes a los usuarios.

El espesor de esta pieza continúa siendo de 1/5" ya que seguimos sin contar con información en plano sobre esta característica.

Más adelante volveremos a este marco y refuerzo para prepararlos para alojar el eje del sistema que acciona el patín de cola.



*Operación Edge Fillet*



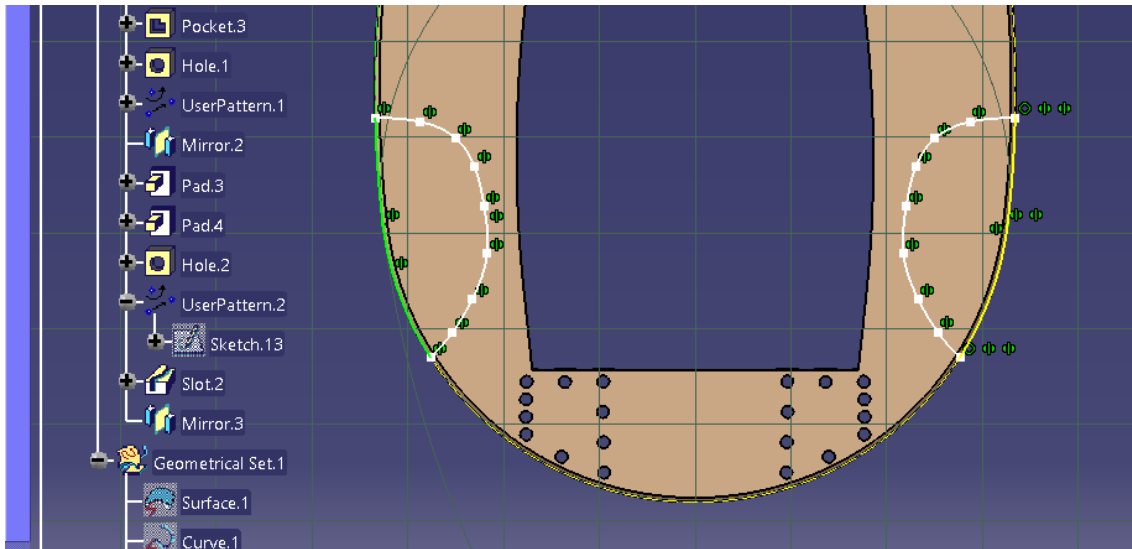
*Operación de Pocket*

### 7.1.6 Refuerzos de media altura 6

Estos refuerzos buscan el mismo objetivo que los anteriores. Se encargarán de unir los largueros horizontales que se encuentran alojados entre los largueros superiores e inferiores.

Estos refuerzos no venían en plano, por lo que son una invención propia condicionada por la búsqueda de una solución al problema de unión entre marcos y largueros.

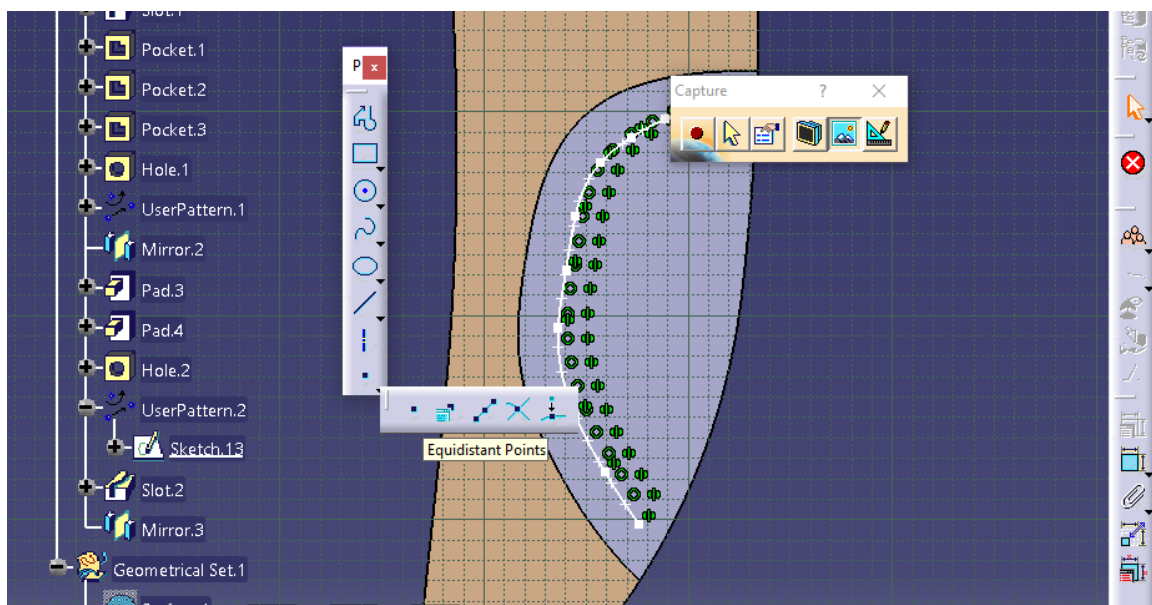
Como quería ahorrar espacio y tener que usar unos tornillos muy gruesos, opté por taladrar 20 agujeros de 1/4" que unirán los refuerzos al marco 6.



*Sketch refuerzo a media altura*

Para dibujar el contorno nos guiamos por el marco y porque conocemos la situación de los taladros según el plano usado para el marco 6. Esto es, las únicas cotas reales que disponíamos en el plano.

Tras repetir lo mismo para los refuerzos de arriba, procedemos a colocar la posición de los taladros para los remaches.

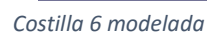


*Situación de los taladros para los remaches*

Mediante la herramienta Equidistant Point colocamos 20 puntos a lo largo del spline donde queremos que vayan los remaches, un sitio intermedio entre el contorno y los taladros mayores.



Y con esta última pieza, damos por concluido el modelado del primer marco, el marco 6, el cual podemos observar que ha quedado fielmente retratado según los planos. Las interpretaciones llevadas a cabo son consistentes con la utilidad de cada pieza, tanto los espesores dados como la hipótesis de unión entre marco-refuerzo-larguero.

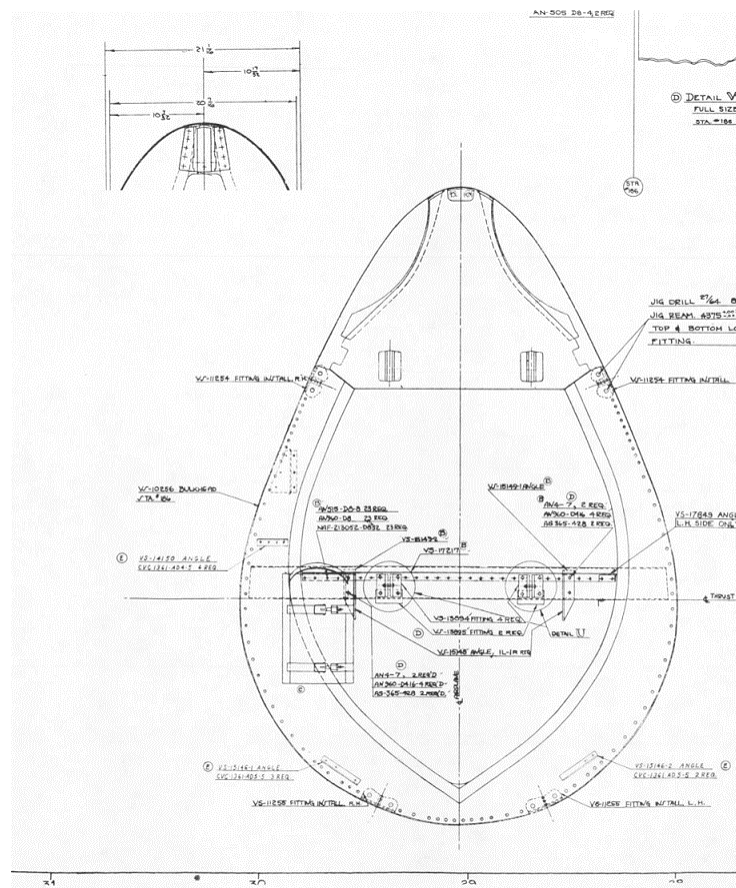


## 7.2 Costilla 4

En el modelado de la costilla número cuatro continuamos la misma metodología seguida en la anterior. Seguimos por esta costilla por el mismo motivo que empezamos por la sexta: se encuentra bien representada en plano. En estas primeras fases del modelado nos interesa fijar las partes del avión que mejor se encuentren representadas, de forma que tengamos que hacer las hipótesis necesarias. La ventaja de hacer hipótesis o suposiciones al final es que las haremos sobre partes modeladas fielmente por lo que estas hipótesis serán seguramente más cercanas a la realidad.

### 7.2.1 Marco 4

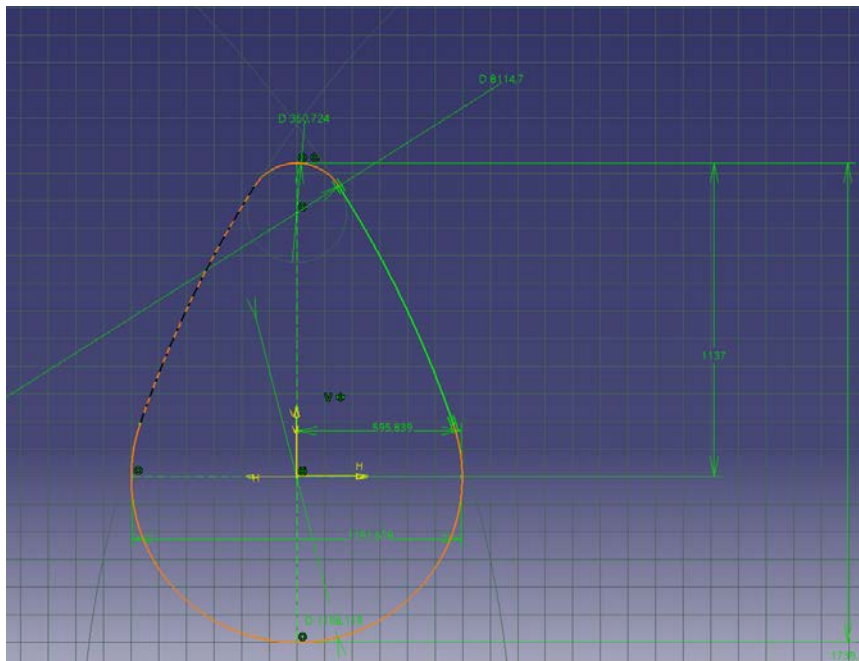
Para el marco 4 en primer lugar imprimiremos el plano en el cual se encuentra y posteriormente sacamos la escala a aplicar mediante una cota real que se encuentre en el mismo, o que conozcamos a través de otro plano.



### Plano de la costilla 4

Este plano contiene en la esquina superior izquierda unas cotas reales, por lo que dividiendo lo medido con una regla obtenemos una escala de 1:12,162.

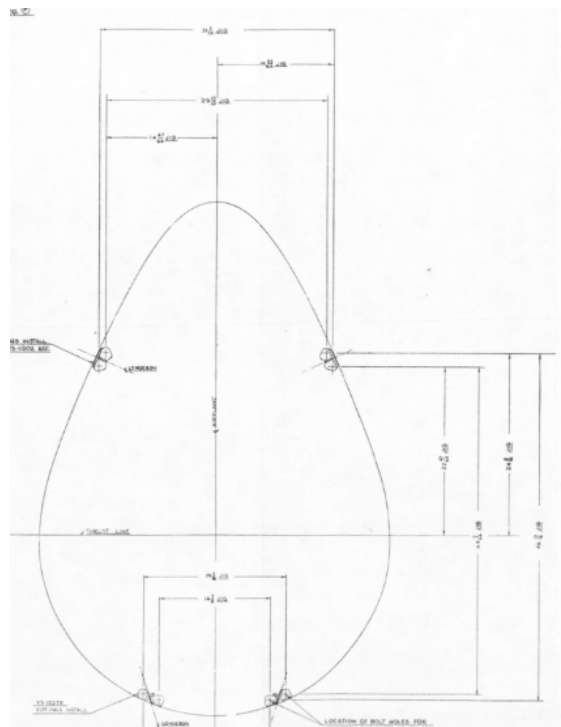
A continuación, realizamos el sketch continuando con la suposición de que se trata de un ovoide de 4 circunferencias tangentes pero observamos que esta vez se aproxima mucho mejor a un ovoide común de 3 circunferencias.



Sketch del marco 4

Después le aplicamos la operación de extrusión a partir de la cual le damos el mismo espesor de 26,31 mm.

Usando otro plano, en el que se encuentran la situación de los taladros que alojan los tornillos que unen los largueros horizontales, realizamos los agujeros y vaciado pertinentes.



Plano de los taladros del marco 4

WAKC 0.4

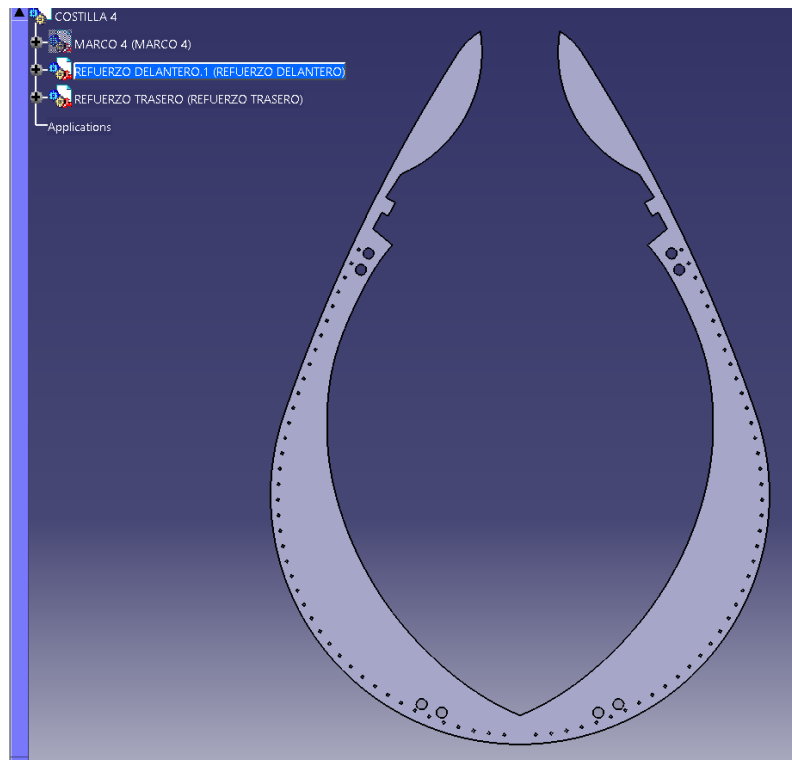


### 7.2.2 Refinement of system $A$

[illegible]

Nuevamente, hacemos un Pad para obtener el sólido, dándole un espesor de 1/5" como hipótesis normalizada para este tipo de piezas.

A la hora de realizar los taladros proyectaremos los que ya hicimos en el marco, de esta forma nos aseguramos la concentricidad. En los taladros efectuados para los remaches usamos un spline a lo largo del contorno, luego haremos un Equidistant Point de forma que repartamos alrededor de 40 puntos en el spline. Por último haremos un User Pattern con un Hole ya hecho anteriormente y automáticamente tendremos todos los taladros en el refuerzo.

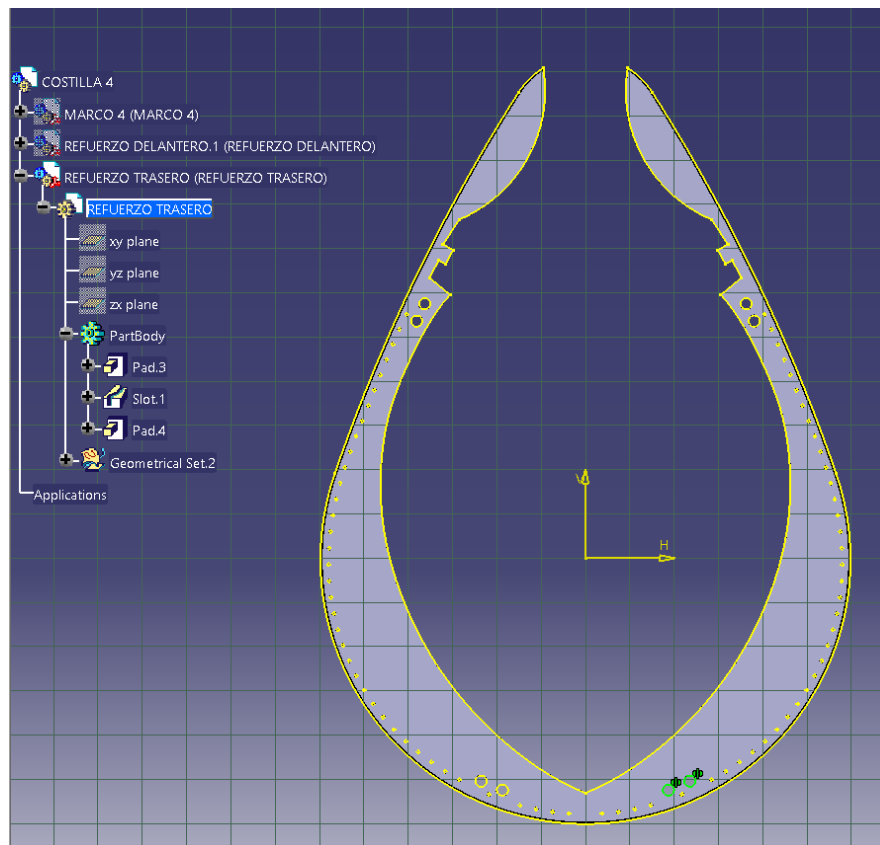


*Modelo del refuerzo delantero 4*

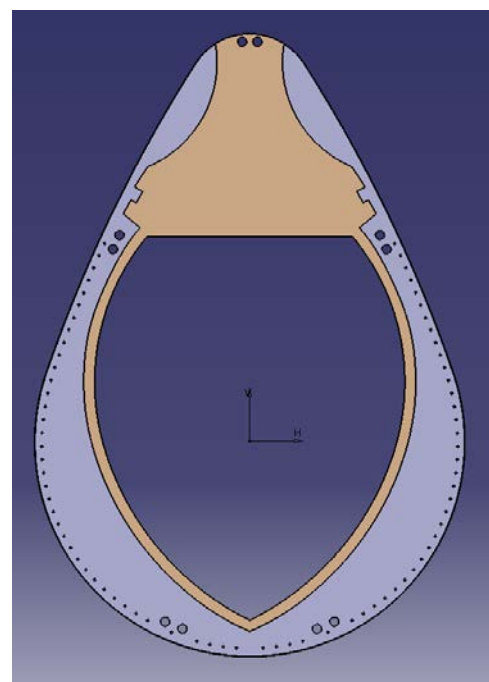
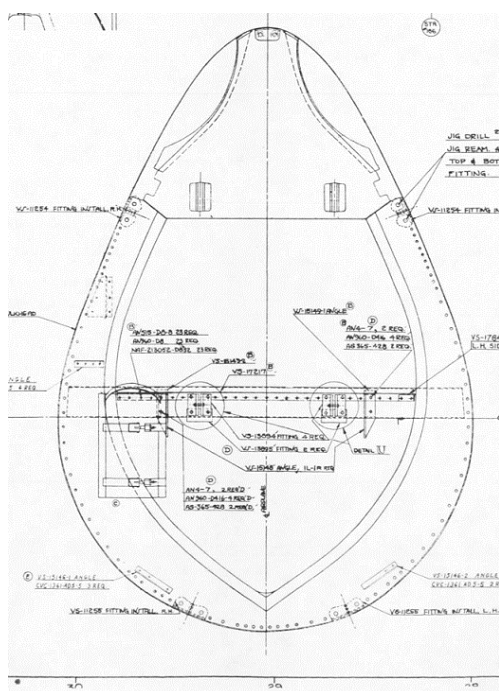
### *7.2.3 Refuerzo trasero 4*

Terminando esta costilla, tenemos dos opciones para este último refuerzo: O hacemos un Mirror a través de un plano situado a 13.155 mm de una de las caras del marco o un sketch en la otra cara proyectando el refuerzo delantero. Optamos por la segunda opción.

Una característica importante de Catia V5 es que te permite hacer la misma operación de varias formas diferentes, aunque siempre conviene realizarlas pensando en cómo se fabrica esa pieza. Esta vez se cree que suponen menos clics al ratón usar esa opción.



Como resultado de la unión de estas tres partes en un mismo Product tenemos la costilla número 4.



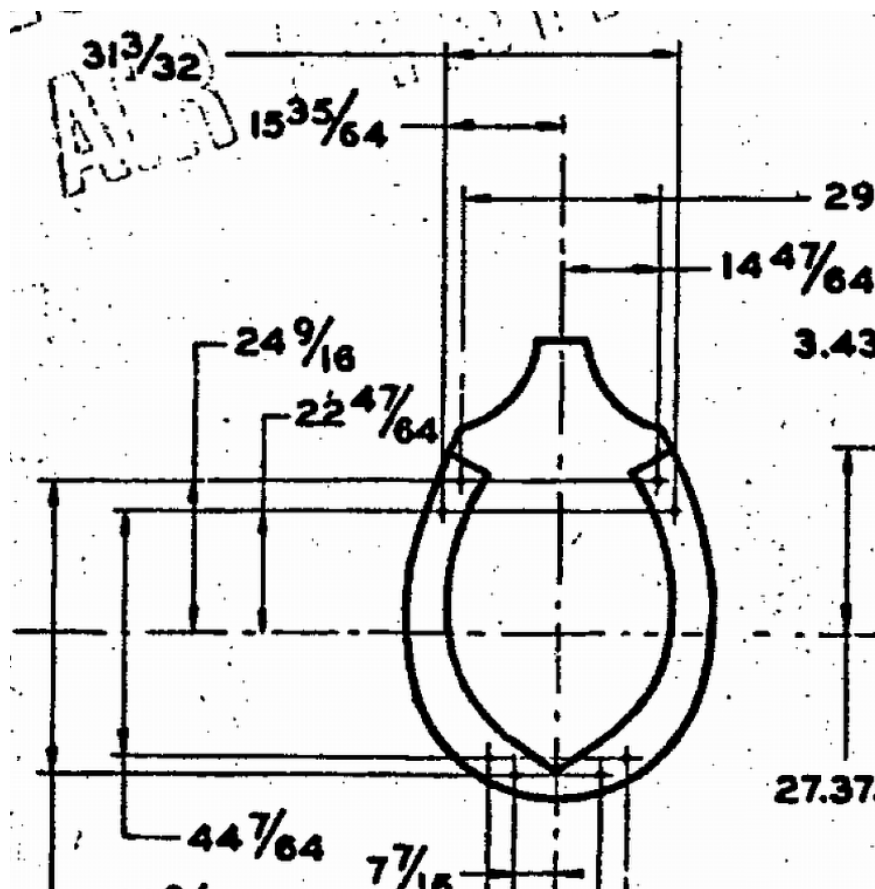


### 7.3 Costilla 3

Esta es la costilla que hace de pared del Cockpit por la espalda del piloto. Hay que fijarse que ya los refuerzos de estas costillas son más extensos y rodean casi el total contorno del marco. Por desgracia, de esta costilla no disponemos de buena información por lo que será la que probablemente haya que rectificar en un futuro.

#### 7.3.1 Marco 3

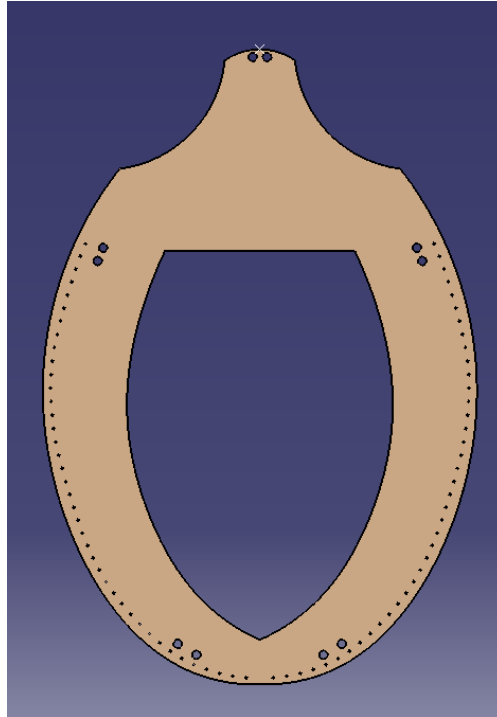
El marco 3 se modelará de la misma forma que los anteriores, primero haremos un sketch y luego extruiremos el dibujo 2D. Esta vez disponemos de menos información, solo existe esta imagen de esta costilla.



Croquis de la costilla 3

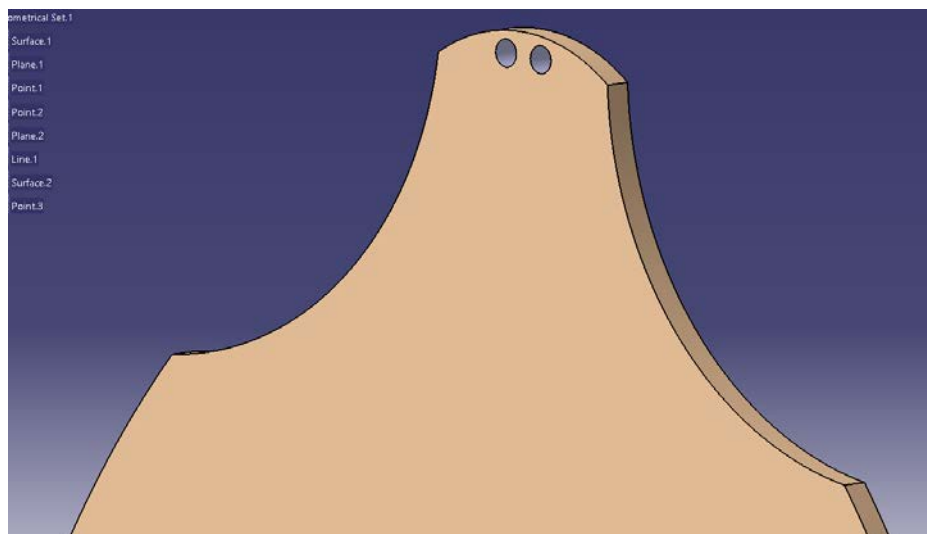
Debemos tener mucho cuidado e intentar medir en la línea media de la impresión, ya que éstas son bastante gruesas. La ventaja de este croquis es que tenemos bastantes medidas para comprobar que trabajamos con la escala correcta. En esta impresión será de 1:29,33. Hay que decir que es peligroso trabajar con escalas grandes, ya que cualquier variación en la toma de cotas supondrá un mayor error en el modelo.

Tras hacer un sketch bastante basto y de hacer todos los vaciados y taladros pertinentes obtenemos un marco de un espesor de 26,31 mm. Nuevamente obviamos el chaflán que se hizo en el marco 6, ya que esta costilla está situada en una parte del fuselaje cilíndrica.



*Marco 3 modelado*

Un detalle importante de este marco es la parte superior. Los dos recortes laterales serán en el futuro los huecos por los que el piloto podrá observar la parte trasera del avión. Estas dos partes hacia adentro serán selladas por los la parte trasera del parabrisas que se haga más adelante.

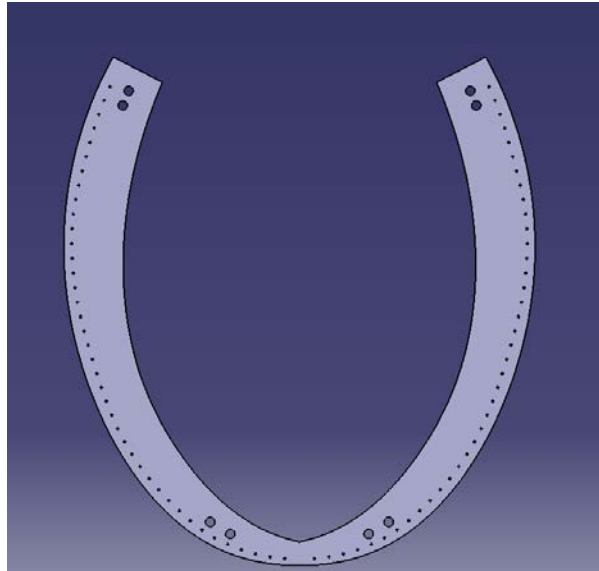


*Detalle de los huecos para visión trasera*



### 7.3.2 Refuerzo delantero 3

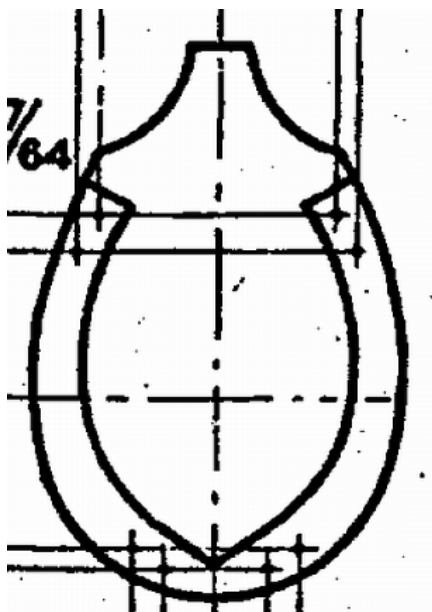
Para este refuerzo delantero haremos su correspondiente sketch, proyectando los taladros ya hechos en el marco anterior. Este refuerzo recubre casi todo el contorno. Esto no es nada extraño, ya que nos vamos acercando a una zona de mayor exigencia tensional, donde las alas, la carga de combustible, piloto, armamento y motor produce mayores esfuerzos, tanto a flexión como torsión.



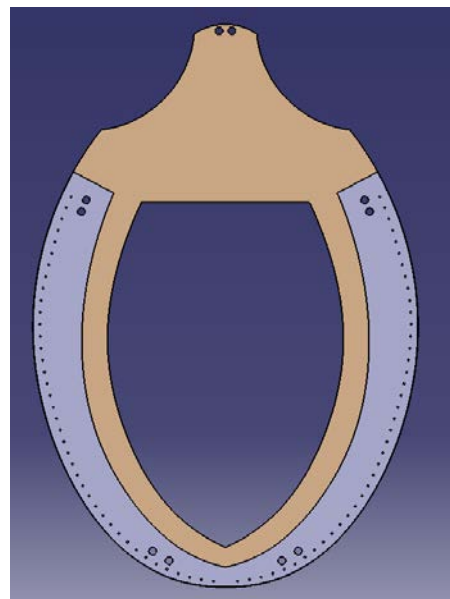
Refuerzo delantero 3

### 7.3.3 Refuerzo trasero 3

En el modelado del refuerzo trasero usaremos un sketch procedente de la proyección del refuerzo anterior. Esta herramienta que nos brinda el software será muy socorrida a lo largo de todo el proyecto. Continuamos con los taladros de 1" para los largueros y de 1/4" para los remaches.



Croquis de la costilla 3



Costilla 3 modelada

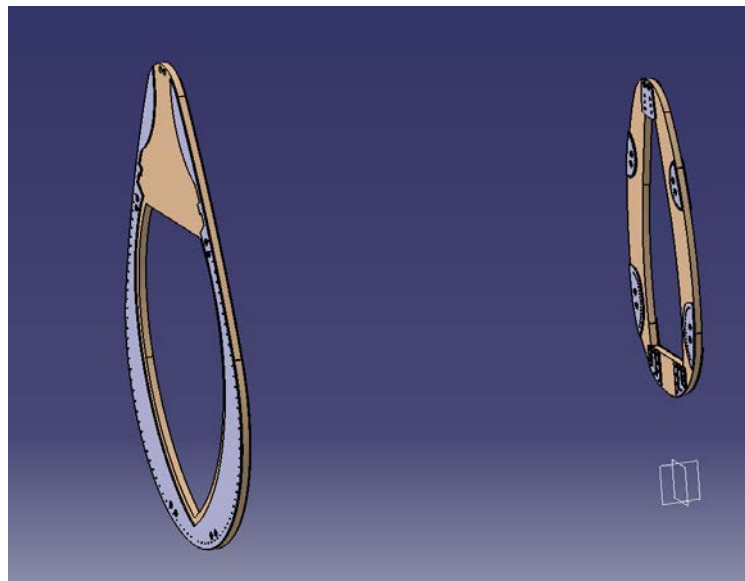
## 7.4 Costilla 5

La quinta costilla es, junto con la sexta, la que más largueros horizontales soporta. Es por ello que casi todo su contorno está cubierto por refuerzos, tanto delante como por detrás. La dificultad que plantea esta costilla es la ausencia de planos o simples croquis, por lo que habrá que extrapolar. Como ya tenemos modeladas las costillas vecinas, la 4 y la 6, y conociendo la distancia a la que se encuentra de éstas, podremos aplicar afinidad y obtener al menos sus dimensiones.

Recalco la importancia de comenzar por lo conocido e ir dejando para más adelante lo desconocido. En el caso en el que hubiésemos comenzado por la costilla 1 o por el cono trasero no tendríamos una costilla con la que poder extrapolar adecuadamente.

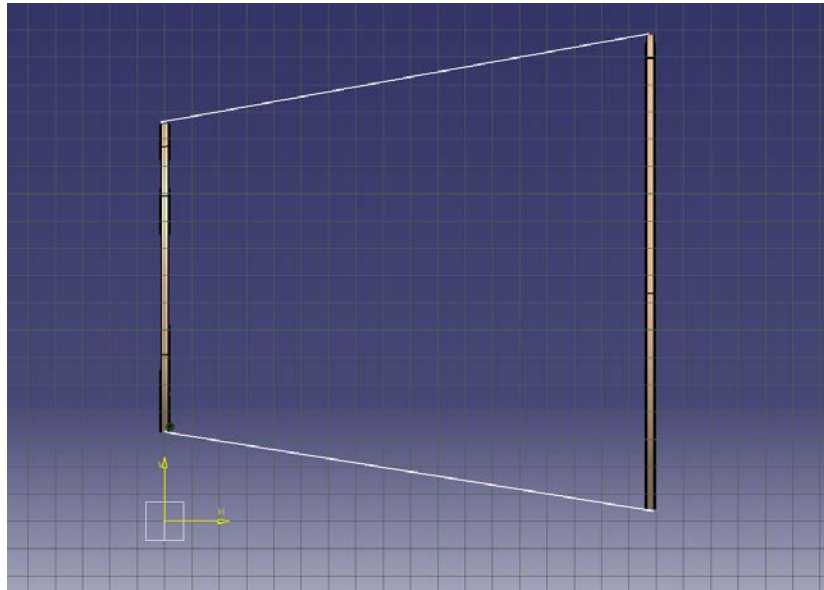
### 7.4.1 Marco 5

Para modelar el marco 6 primero partimos de las dos costillas contiguas a la costilla 5, la costilla 4 y la 6.



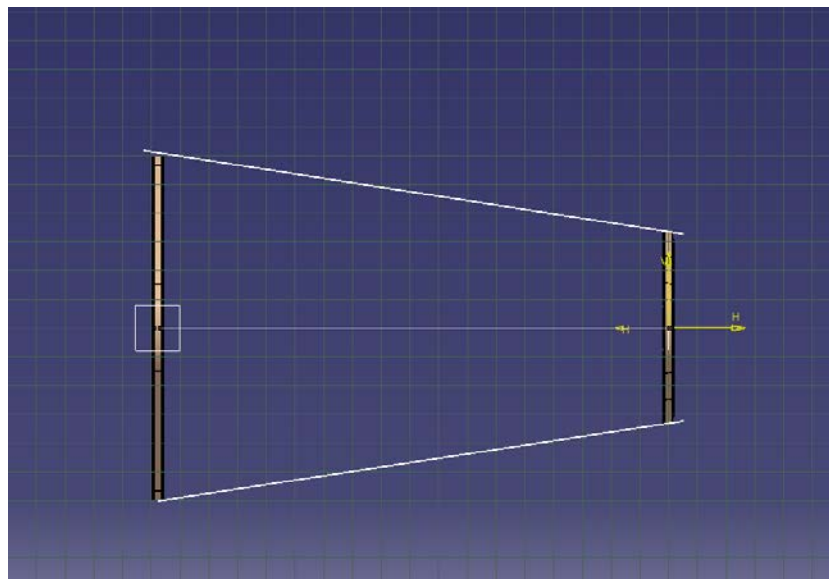
*Marcos 4 y 6 colocados*

Una vez colocados relativamente a 2590,8 mm tal y como se marca en los planos, trazaremos unas líneas tangentes a las dos costillas en las vistas de planta y perfil. De esta forma nos aseguramos que la costilla seguirá la misma pendiente ya impuesta por la afinidad entre estas dos costillas.



*Líneas tangentes a las costillas 4 y 6 en perfil*

A continuación, realizamos la misma operación pero en la vista de planta, trazando dos tangentes a las dos costillas.

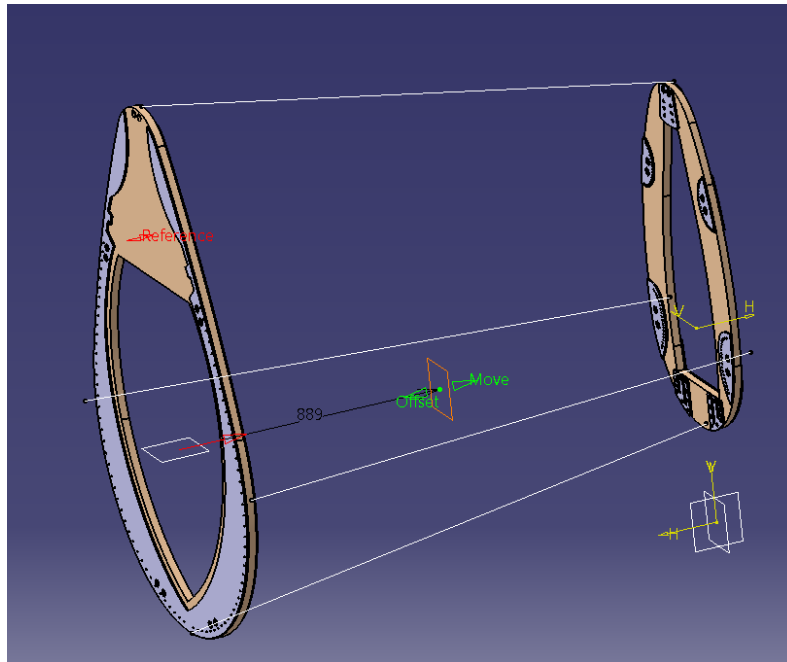


*Líneas tangentes a la costillas 4 y 6 en planta*

En el primer caso debemos asegurarnos que las líneas tangentes estén contenidas en el plano vertical que contiene a la línea de referencia, mientras que en el segundo caso éstas líneas deben estar contenidas en el plano horizontal que contiene dicha línea.

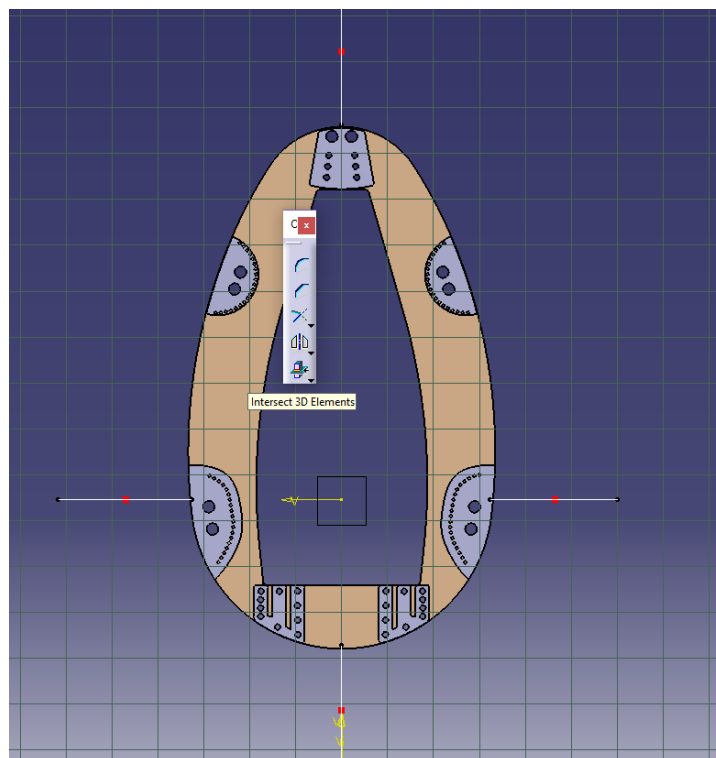
A continuación, debemos colocar el plano vertical y paralelo a las costillas que contendrá el sketch en el cual haremos el marco 5. Dicho plano se encuentra a 253" de la referencia de cabeza y el plano de la costilla 6 a 288", por lo que debemos colocar un plano con un offset respecto a la costilla 6 de 889 mm.

$$Offset = (253''-218'') * 25,4 \text{ mm/pulgada} = 889 \text{ mm}$$



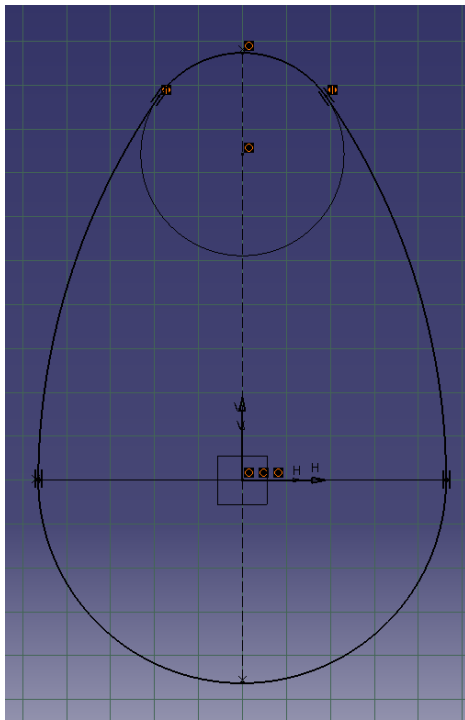
*Plano colocado a 889 mm de la costilla 4*

Después, usaremos una operación que se no se ha usado hasta ahora, Intersect 3D elements, de forma que conseguiremos directamente los puntos intersección de las cuatro líneas tangentes en nuestro plano. De esta forma ya dispondremos de los cuatro extremos de nuestro ovoide.

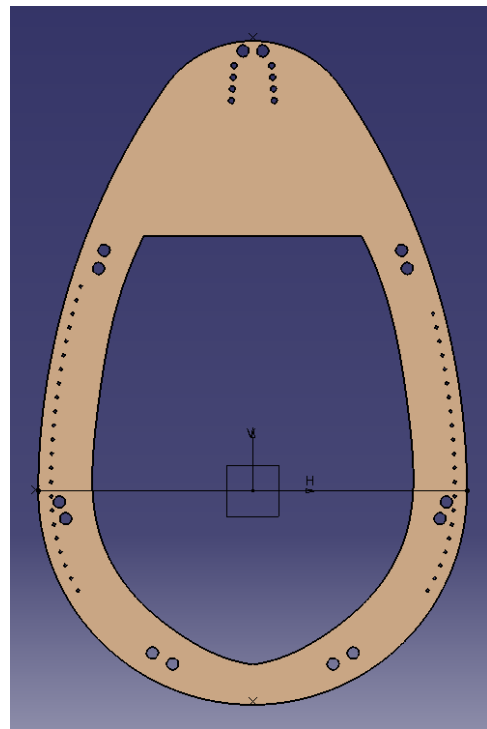


*Puntos extremos del marco 5 marcados en rojo*

A partir de aquí el procedimiento es similar a los anteriores, trazaremos un ovoide de 4 centros que nos permita asemejar lo más posible el sketch al marco real y luego usando Pad obtendremos nuestro sólido de 26,31 mm de espesor. Después, sólo tendremos que hacer los vaciados y taladros aproximados, teniendo en cuenta que no se dispone de información relativa a estas operaciones. Aun así, continuaremos con el criterio marcado, 1" para los taladros mayores y 1/4" para los taladros dedicados a remaches y usaremos como referencia los taladros ya realizados en la costilla 6.

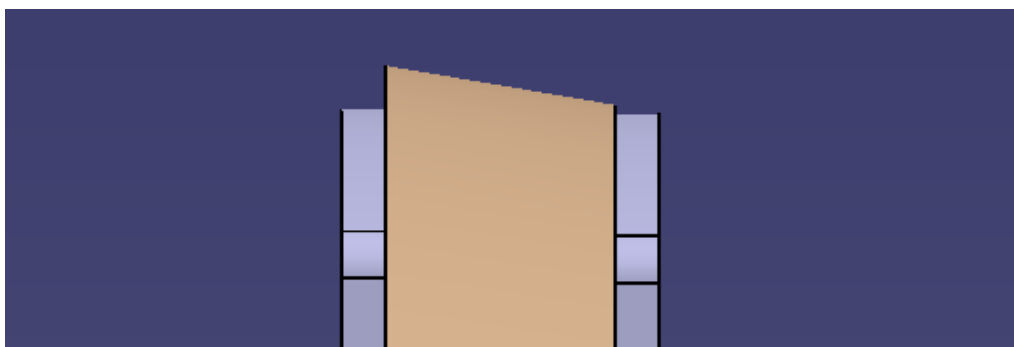


*Sketch del marco 5*



*Marco 5 modelado*

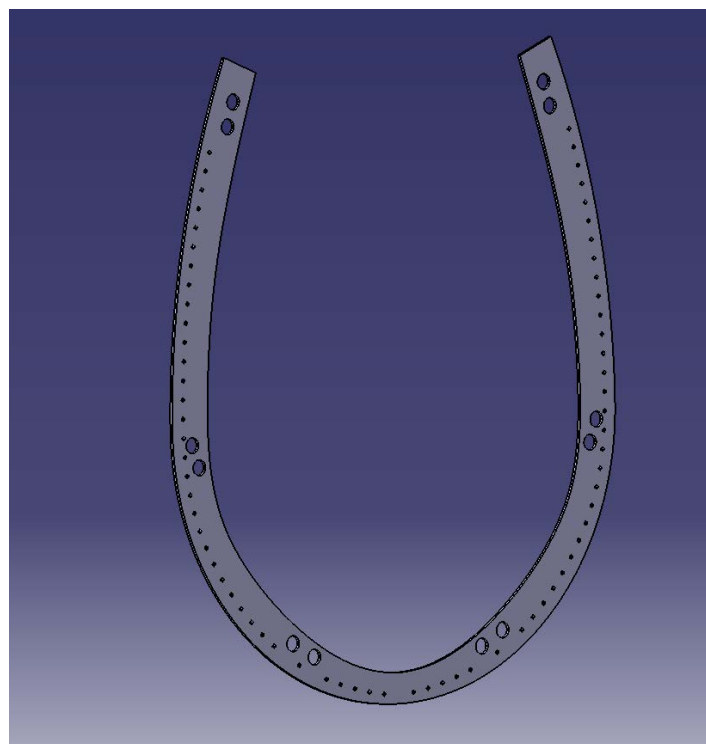
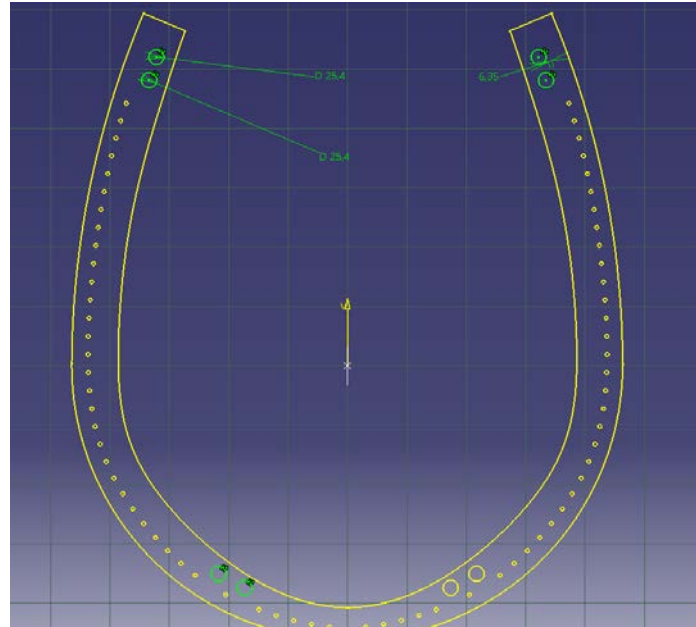
Esta vez sí debemos llevar a cabo la operación de achaflanado en el contorno del marco. Esto se debe a que este marco ya si se encuentra en la zona del fuselaje cónica. Aplicamos un chaflán de 9,7° y 26.31 mm.



*Chañlón en el marco 5*

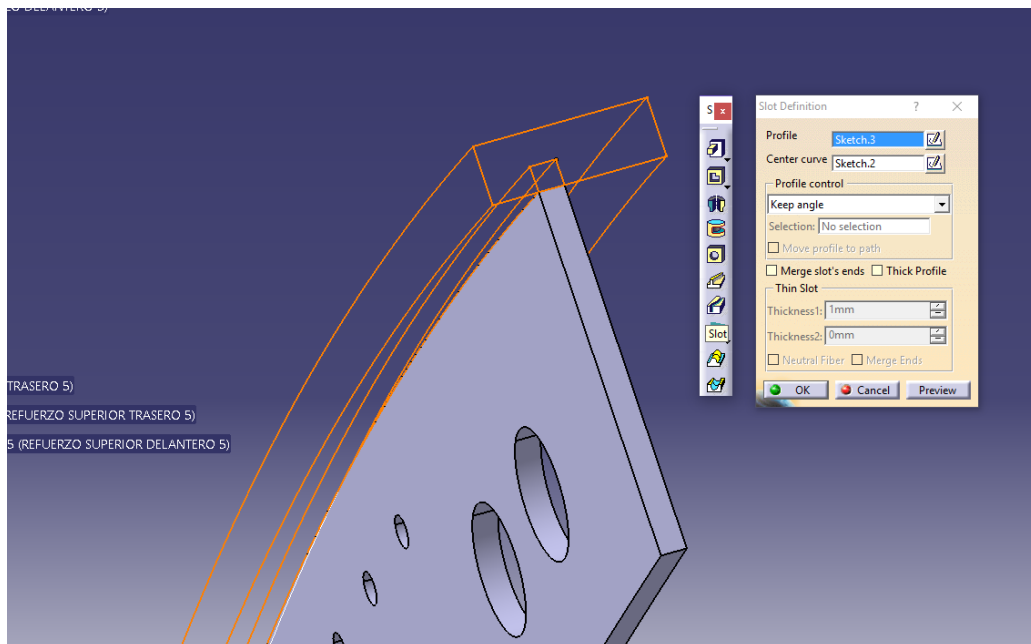
#### 7.4.2 Refuerzo delantero 5

Para el refuerzo delantero haremos una proyección del contorno del marco y lo extenderemos hasta que ocupe los taladros de unión laterales. Luego le asignaremos un espesor de 1/5”.



Como explicamos anteriormente, tenemos que dejar un margen entre el contorno del marco y los refuerzos debido al espesor de la futura cubierta. Para

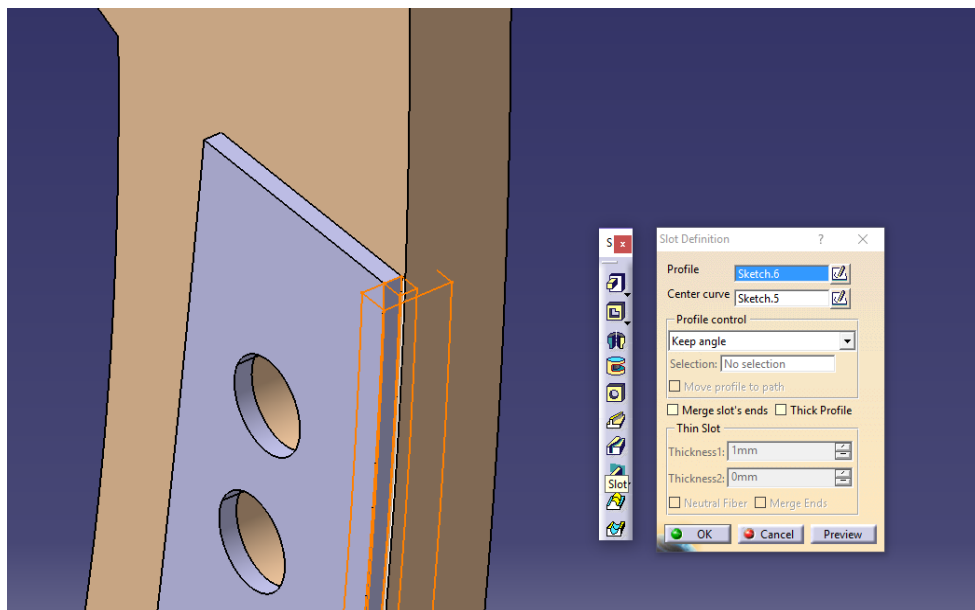
esta eliminar este sobrante usaremos la operación de Slot, la cual elimina sólido con la forma del perfil que queramos a lo largo de una línea o spline que elijamos.



Recorte de 2 mm del contorno del refuerzo delantero 5

### 7.4.3 Refuerzo trasero 5

Para el refuerzo trasero simplemente haremos una proyección del refuerzo delantero y le daremos el mismo espesor de 1/5". En este lado también tendremos que efectuar el recorte del contorno. Dejaremos de margen con el marco otros 1 mm.

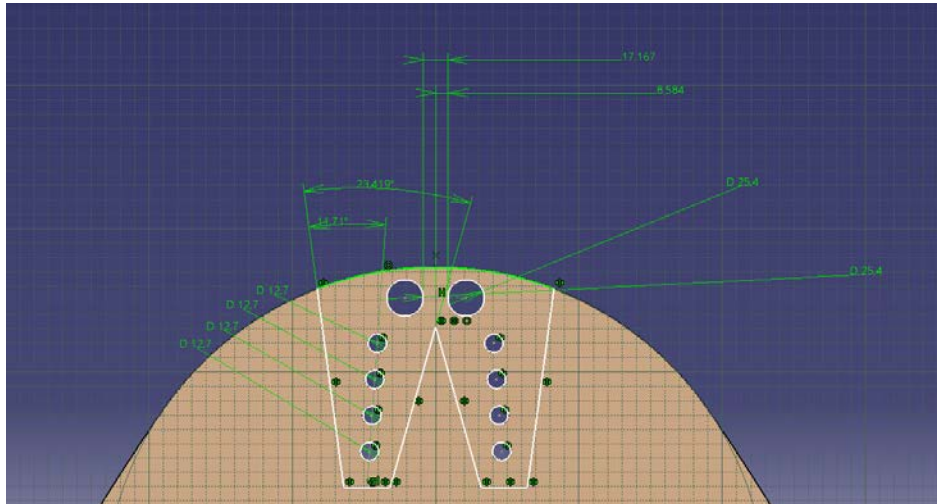


Recorte de 2 mm del refuerzo trasero con la operación de Slot



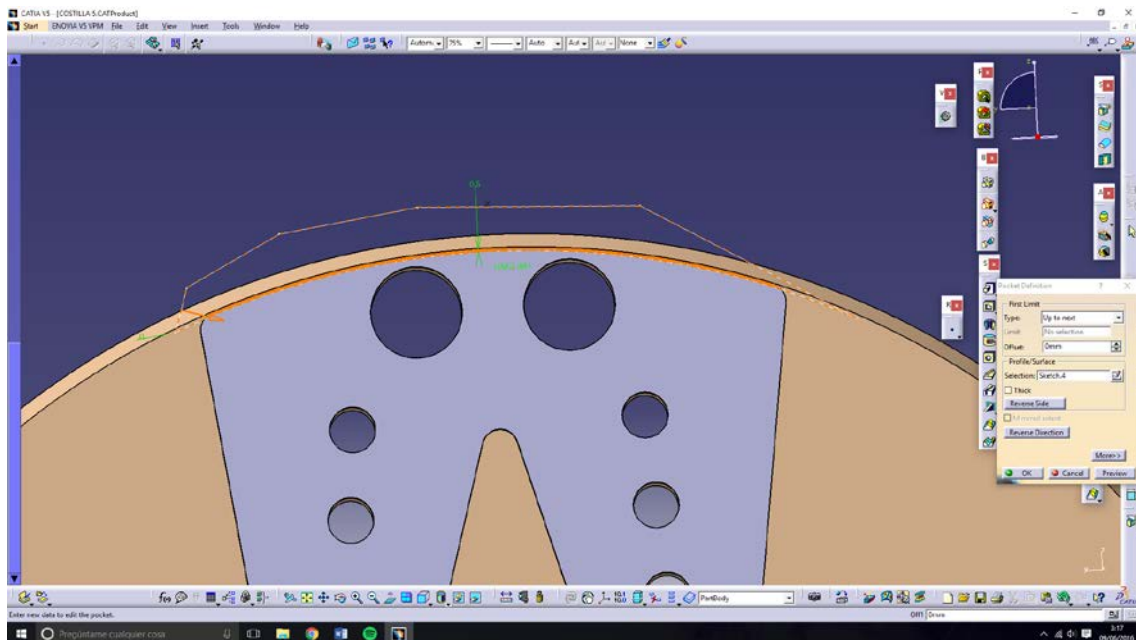
#### 7.4.4 Refuerzo superior trasero 5

El refuerzo superior trasero lo haremos guiándonos del contorno superior del marco y de la situación de los taladros de los largueros superiores. Colocaremos también los taladros para los remaches que unirán dicha placa al marco 5. La topología en forma de diente se ha pensado sobre todo para el ahorro de peso, colocando esquinas redondeadas para evitar posibles entallas.



Sketch del refuerzo superior trasero

A continuación haremos una operación de vaciado mediante la cual le recortaremos 1 mm a la placa de 1/5" de espesor.

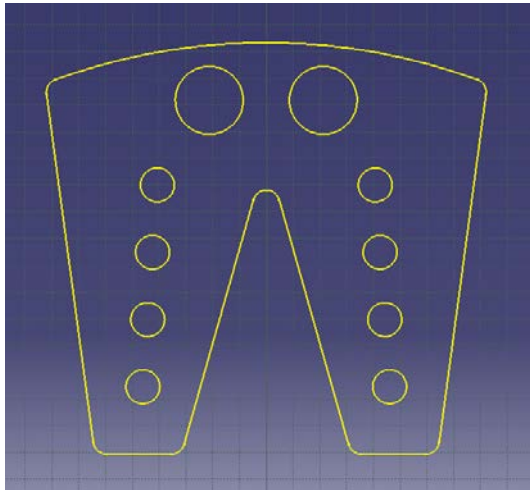


Operación de vaciado sobre el refuerzo superior trasero

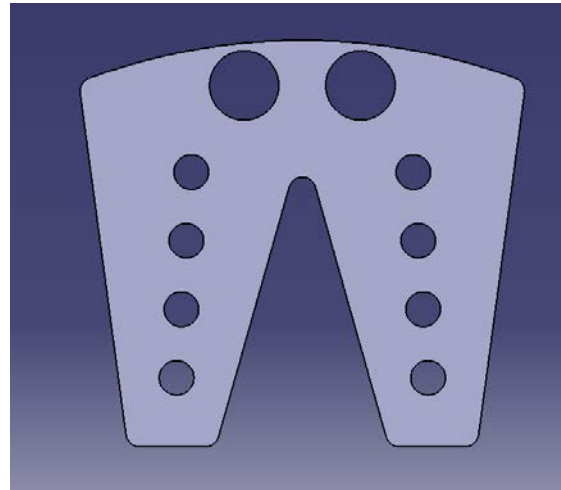


#### 7.4.5 Refuerzo superior delantero 5

De la misma forma repetimos la operación efectuada para el refuerzo trasero. Llevaremos a cabo una proyección del contorno, asegurándonos así la concentricidad de los taladros y que habrá margen de sobre con respecto al contorno del marco, ya que este por la cara delanteras es más ancho.

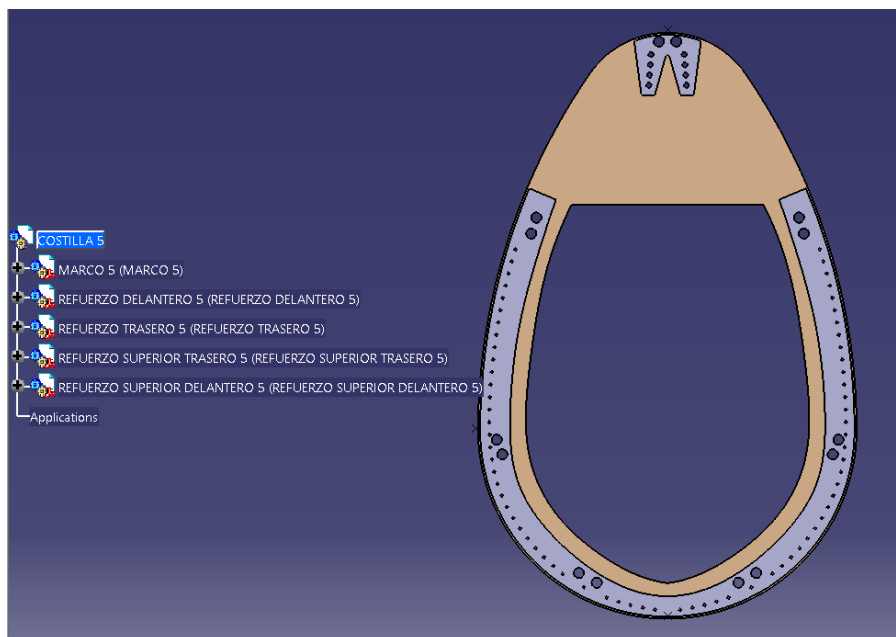


Sketch del refuerzo superior delantero



Refuerzo superior delantero modelado

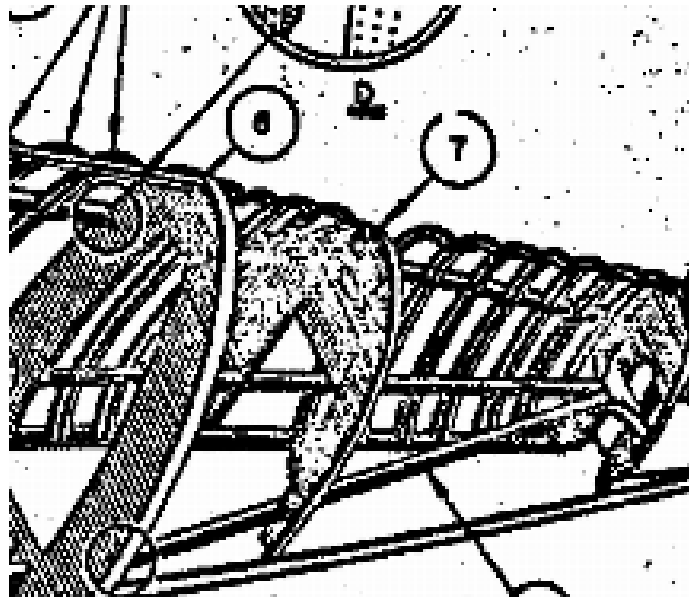
Finalmente, ya con todas las piezas modeladas, podemos comprobar que todos los taladros son coincidentes y los refuerzos no sobresalen por el contorno del marco 5. Esta costilla ha sido totalmente supuesta, aunque cuadrará cuando hagamos el Assembly de las costillas, ya que usamos como referencia las dos costillas contiguas.



Costilla 5 modelada

## 7.5 Costilla 7

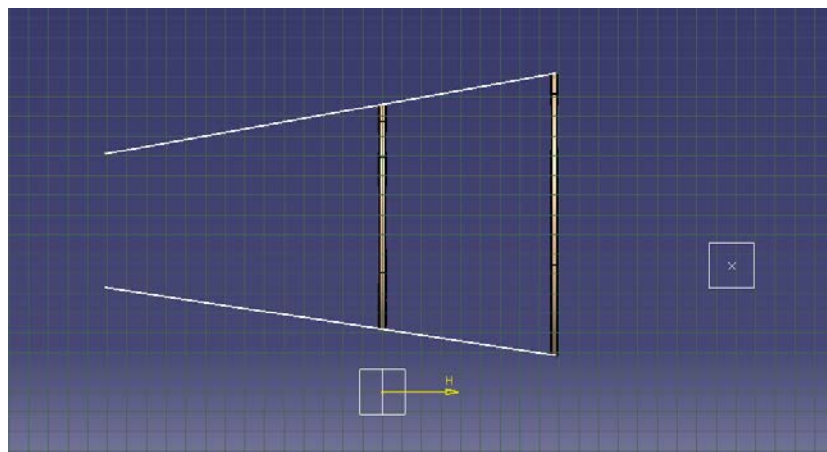
La costilla 7 tiene la peculiaridad de que no es cerrada en su contorno. Esta costilla debe tener una abertura en su parte inferior para poder dar entrada al tren de aterrizaje trasero. Por desgracia no disponemos de información sobre sus medidas, por lo que realizaremos la misma afinidad llevada a cabo en la costilla 5. Sabemos que es abierta por la información de este croquis en perspectiva.



*Detalle de la séptima costilla*

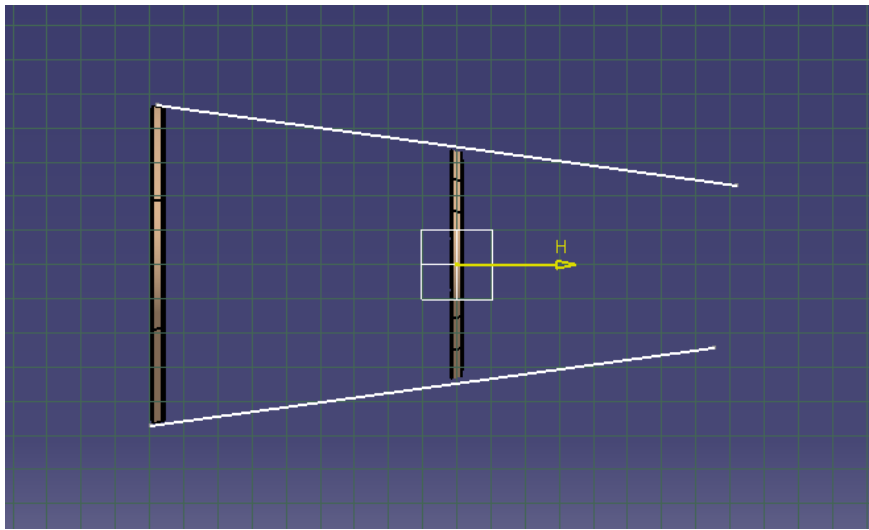
### 7.5.1 Marco 7

Como dijimos antes, no disponemos de información sobre esta costilla, solo sabemos que debe ser abierta para poder alojar el tren de aterrizaje trasero. Para su modelado seguiremos la técnica de la extrapolación apoyándonos en las costillas ya modeladas. Primero trazaremos tangentes en el plano XZ a las costillas contiguas ya modeladas, las costillas 5 y 6.



*Líneas tangentes a las costillas 5 y 6*

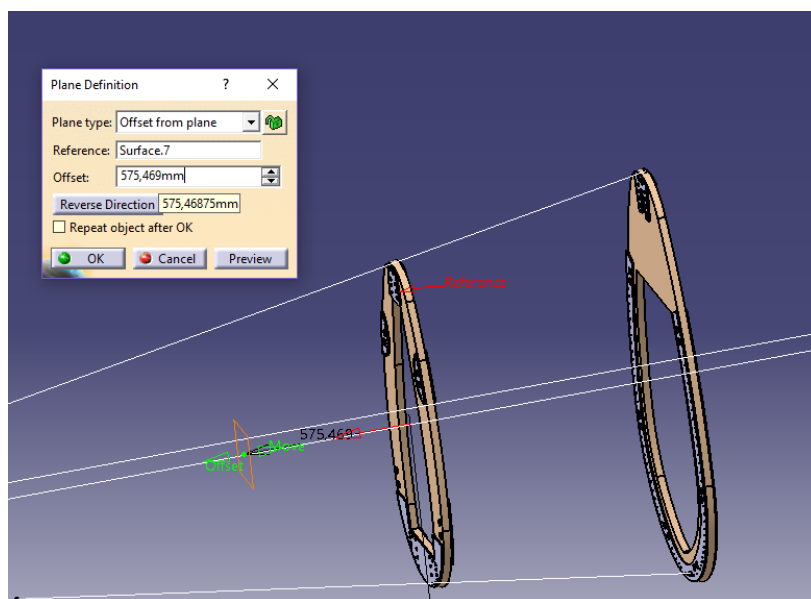
A continuación repetimos lo mismo pero en este caso en el plano XY, el plano horizontal, teniendo en cuenta la referencia que se está tomando en el modelado del fuselaje.



*Líneas tangentes a la costillas 5 y 6*

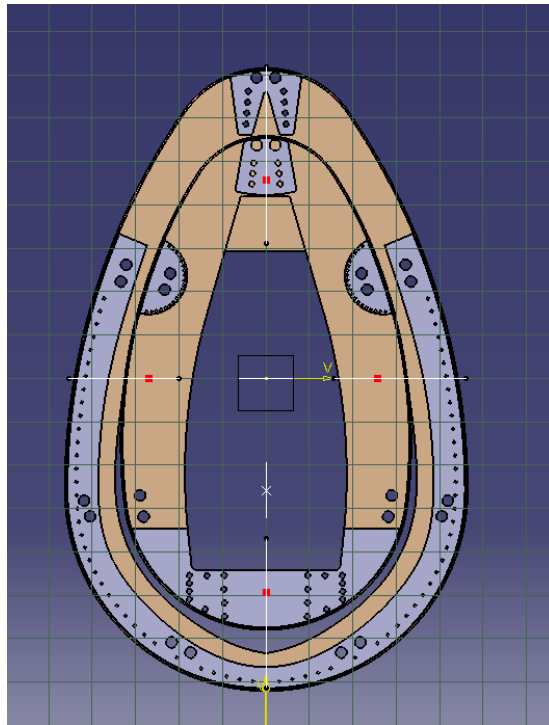
El siguiente paso es colocar el plano en el que se encuentra nuestra costilla 7, el cual sabemos que está a  $310 \frac{21}{32}$  “, así que sabiendo que la costilla está a 288” del cono de hélice y haciendo una sencilla operación colocamos el plano a la distancia adecuada.

$$Offset = (310 \frac{31}{32} - 288") * 25,4 \text{ mm/pulgada} = 575,469 \text{ mm}$$



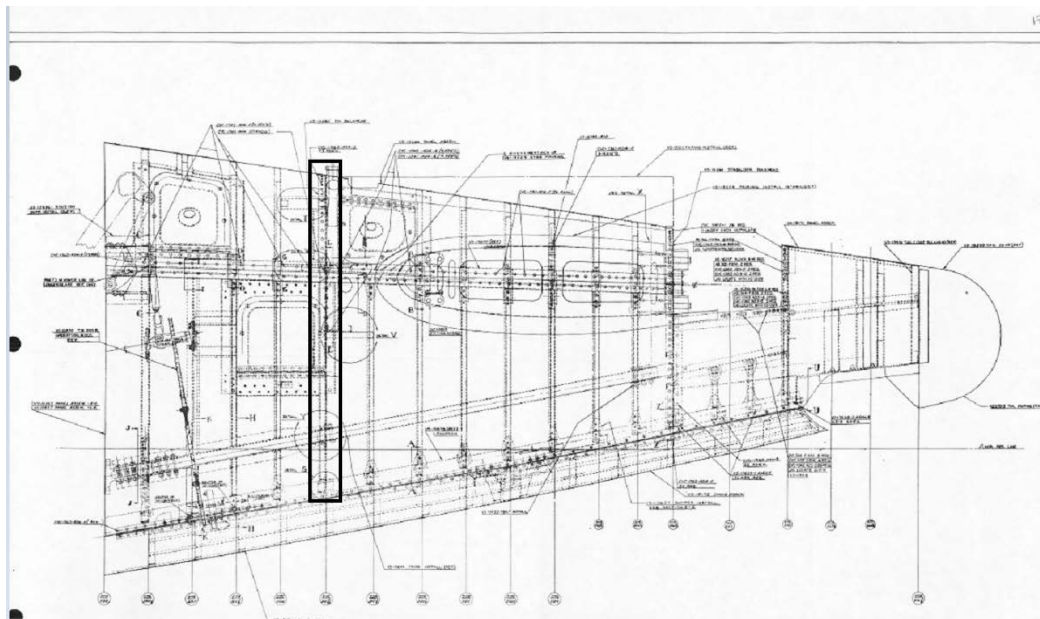
*Situación del plano de la costilla 7*

A continuación solo tenemos que marcar los puntos de intersección de estas cuatro líneas en el plano anterior, para así conocer los límites del contorno del marco.



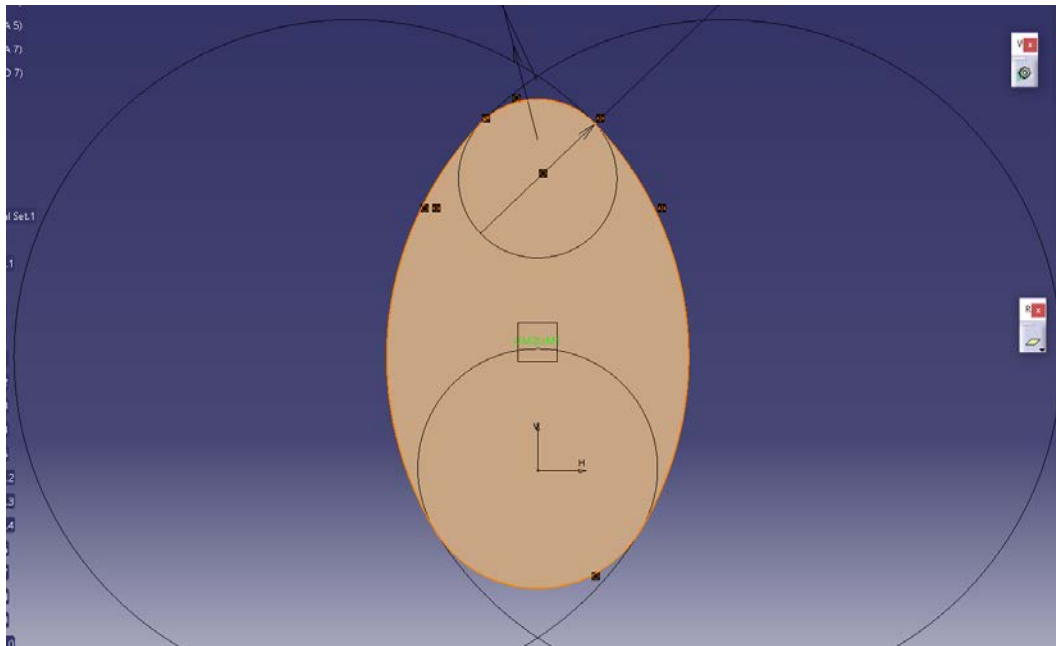
*Intersección de las líneas tangentes en el plano de la costilla 7*

Tras efectuar estas operaciones ya hemos preparado el terreno para modelar el contorno. Como dijimos, este marco no cierra por la parte inferior, por lo que a través de un plano perfil del fuselaje conseguimos averiguar la altura de este marco.



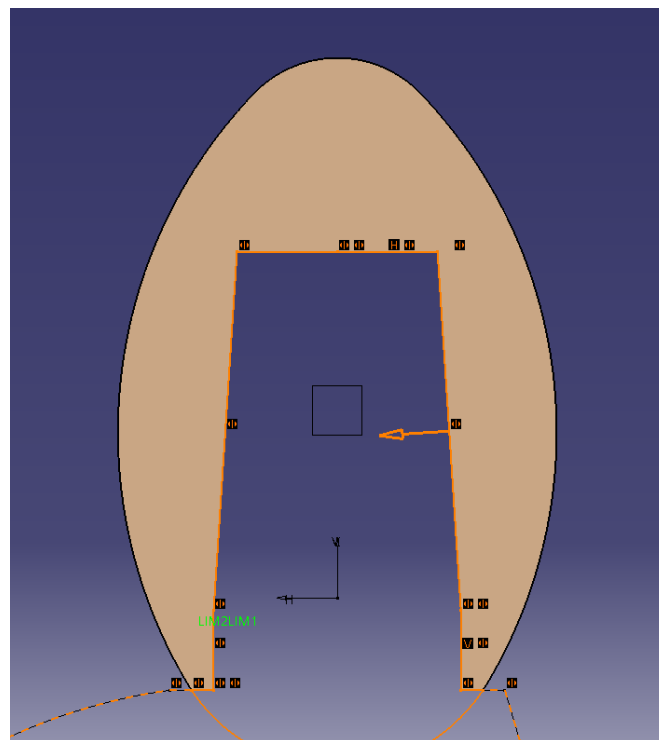
*Perfil de la cola del Vought Corsair F4U*

Tras medir y aplicar la escala de la impresión de 1:8,84 conseguimos averiguar que la altura de este marco es de 826 mm. A partir de aquí solo tenemos que volver a construir un ovoide de 3 centros entre los 4 puntos marcados anteriormente.



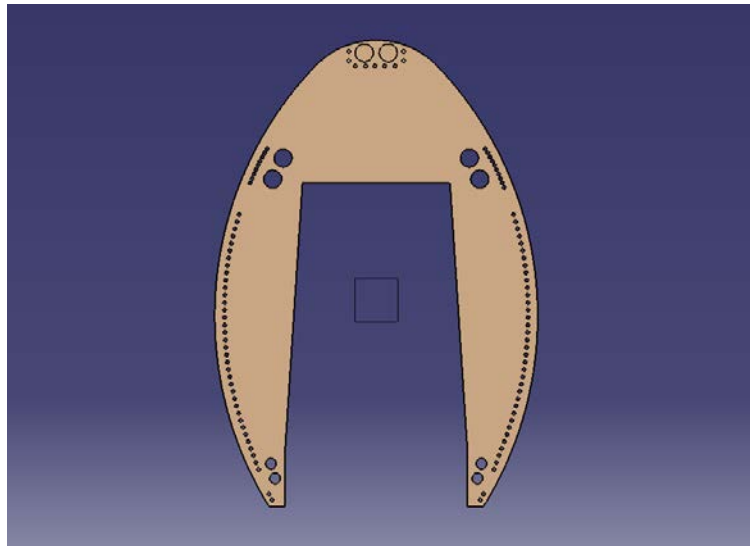
*Marco 7 sin mecanizar*

A continuación procedemos a mecanizar el vaciado de la parte inferior, la cual sabemos tiene una cota de 826 mm.



*Vaciado del marco 7*

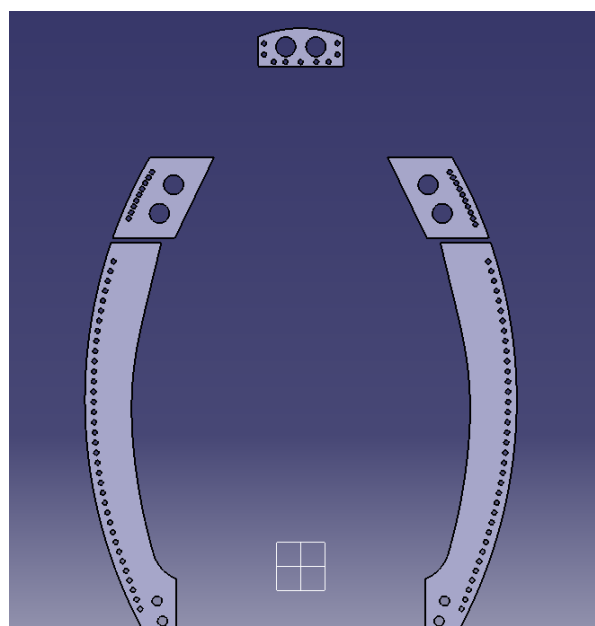
Por último, taladramos los agujeros para los remaches que colocaremos y los taladros para los agujeros de unión. Estos taladros deben ser de mayor diámetro que el remache que irá en su interior, ya que debe alojar la cabeza del mismo. Taladramos estos agujeros a 1 ¼". Este marco tiene los mismos taladros que el marco 6 y por tanto colocados en la misma posición. Realizaremos la operación de Chamfer al final para adaptar el marco a la inclinación del fuselaje en esta parte.



Marco 7 modelado

#### 7.5.2 Refuerzos traseros 7

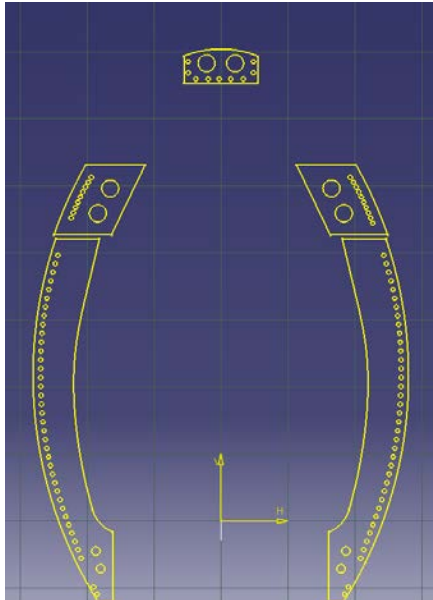
Para el refuerzo trasero simplemente dibujaremos un sketch en la cara trasera dejando un margen de 1 mm con el contorno del marco. Tendremos cuidado de hacer coincidir todos los taladros en estos refuerzos y por último dar un espesor de 5,35 mm o 1/5".



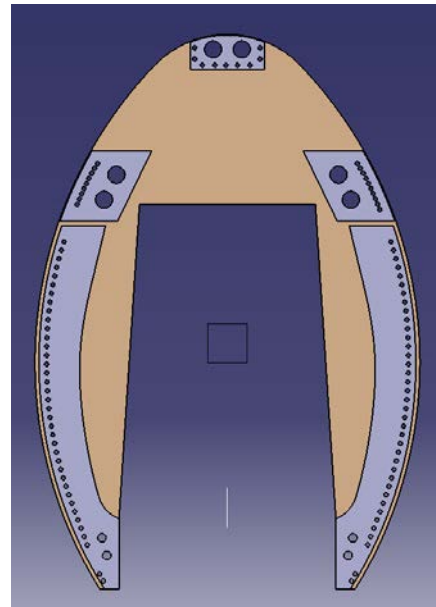
Refuerzo trasero

### 7.5.3 Refuerzos delanteros 7

En el refuerzo delantero simplemente proyectaremos el contorno del refuerzo anterior, de esta forma lo hacemos coincidir con los taladros pasantes. Le damos el mismo espesor que al anterior de 1/5".



Sketch del refuerzo delantero



Costilla 7 modelada

## 7.6 Costilla 8

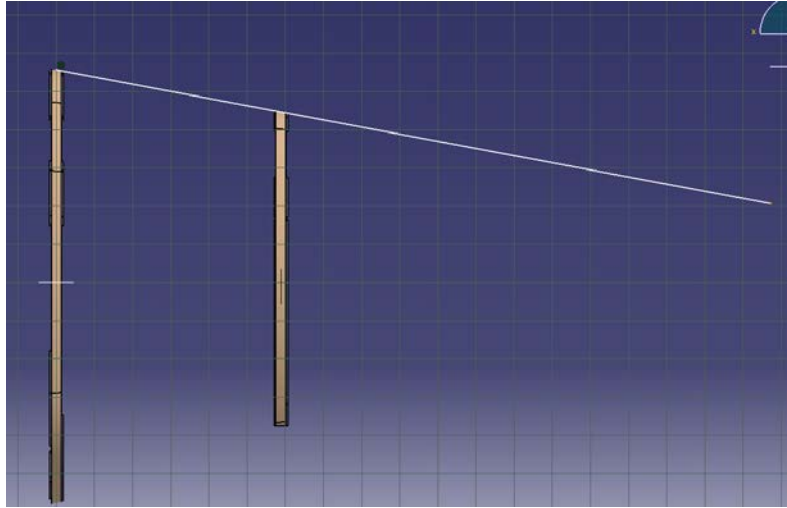
Nos encontramos ante una costilla similar a la anterior. Se efectuará las mismas operaciones extrapolando con las dos anteriores. Esta costilla presenta menos materia en refuerzo tanto trasero como delantero. Como se encuentra en la zona del tren de aterrizaje sigue manteniendo la zona inferior abierta para alojar el tren de aterrizaje trasero.

### 7.6.1 Marco 8

El marco 6 será modelado conociendo ya la forma de los dos marcos anteriores. Como queremos asegurarnos que continuamos con la misma pendiente en la cola del fuselaje, trazaremos tangentes a las costillas anteriores para establecer los límites del ovoide que dibujemos en su sketch.

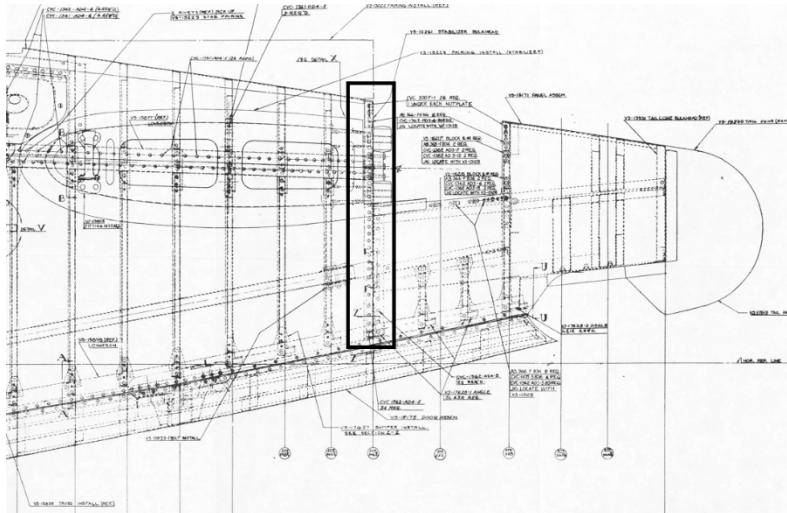
Solamente podremos trazar una tangente superior porque la parte inferior de la costilla 7 está vaciada, por lo que no obtendríamos una línea que marcara el límite inferior de la costilla 8. Para ello, solo marcamos el límite superior y con la vista de perfil del plano obtenemos la altura de la costilla.



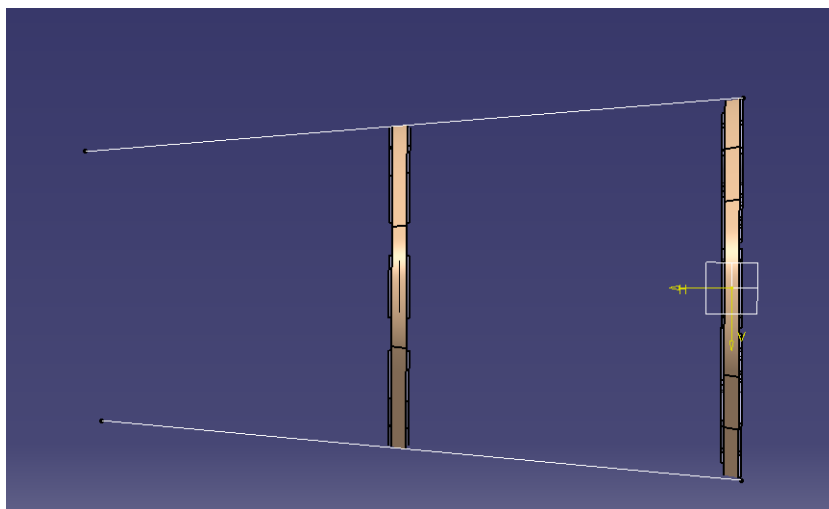


*Línea tangente superior a las costillas 6 y 7*

A continuación, mediante la escala 1:8,84 y el perfil encontrado en los planos, obtenemos la altura del marco. Esta altura, encuadrada en negro, será de 543 mm.



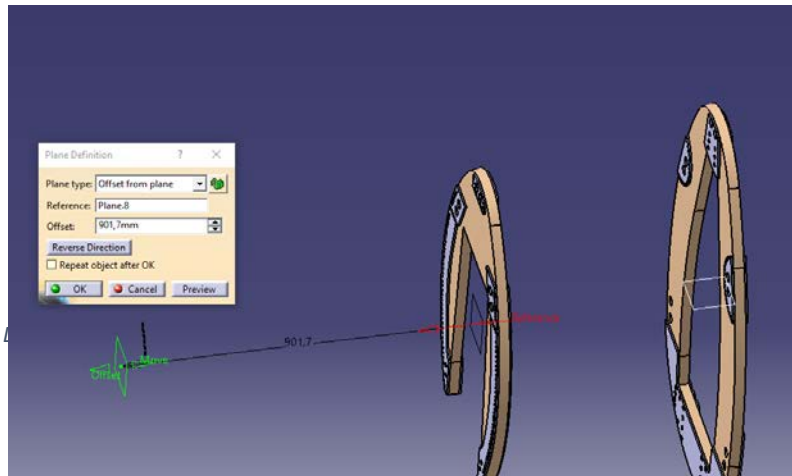
Ahora hacemos lo propio en el plano XY, de forma que volvemos a limitar el ancho del ovoide.



*Perfil de la cola del fuselaje*

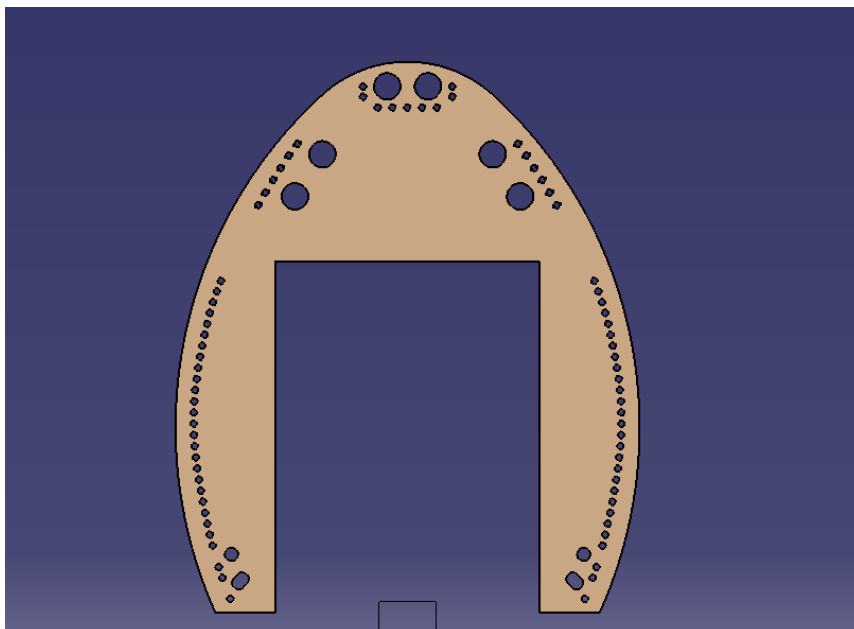
Ahora colocamos el plano que contendrá la costilla 8, el cual se encuentra a 346 5/32". Mediante un pequeño cálculo tenemos la distancia a la costilla 7.

$$Offset = (346 \frac{5}{32} - 310 \frac{21}{32}) * 25,4 \text{ mm/pulgada} = 901,7 \text{ mm}$$



Plano de referencia del marco 8

Ahora procedemos a dibujar el ovoide del cual sacaremos el marco. También haremos los mismos taladros que en el marco 7, colocados relativamente igual. Tampoco nos olvidamos que seguimos en la cola, por lo que debemos seguir haciendo el chaflán del mismo espesor del marco, 26,31 mm, y con un ángulo de 9,7°.

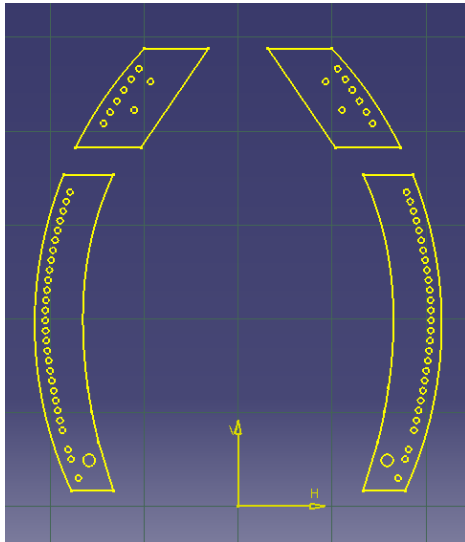


Marco 8 modelado

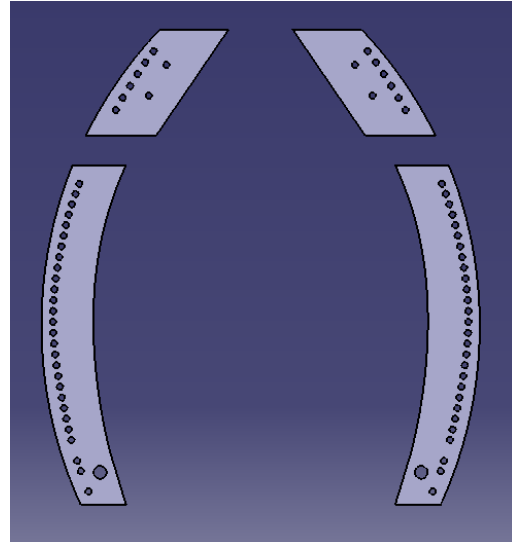
### 7.6.2 Refuerzo trasero 8

Este refuerzo está dividido en dos partes, una superior y otra inferior. Este marco no tiene refuerzo en su extremo superior, ya que las vigas horizontales acaban en la cara delantera.

Modelamos apoyándonos en el contorno del marco, al cual le quitamos 1 mm para dejar un margen para la cubierta. Tras hacer los taladros de los remaches y los que unen los otros largueros horizontales le damos el espesor de 1/5”.



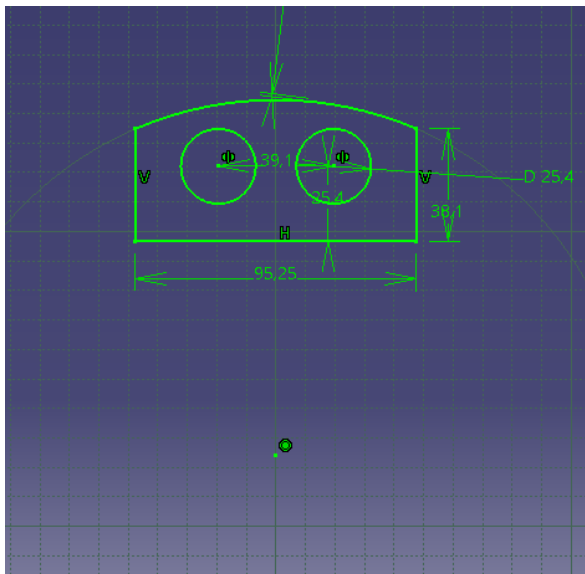
Sketch del refuerzo trasero



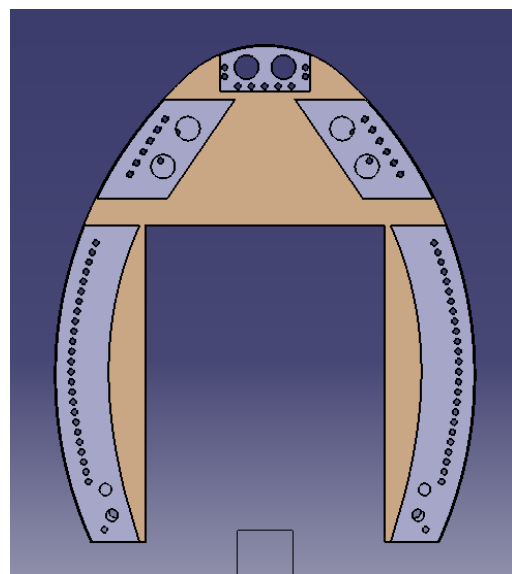
Refuerzo trasero modelado

### 7.6.3 Refuerzo delantero 8

Usaremos una proyección del refuerzo anterior para modelar todas las partes excepto la superior, la cual no existía en el refuerzo trasero. Esta parte es imprescindible para poder unir los largueros horizontales del extremo superior al marco



Sketch del refuerzo superior delantero



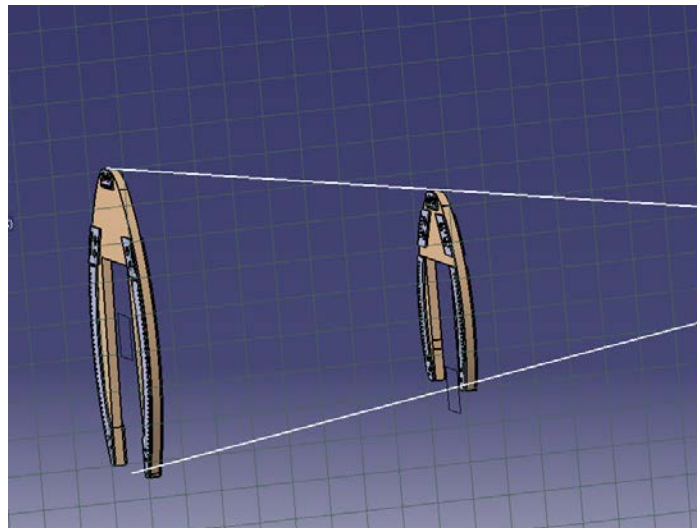
Costilla 8 modelada

## 7.7 Conjunto cono

Con este conjunto final cerramos el fuselaje por la parte trasera. No disponemos de ninguna información al respecto en los planos, por lo que continuaremos extrapolando con las dos costillas anteriores. Esta parte no soporta ningún tipo de carga, ya que las estructuras del timón de dirección y profundidad están cogidas en las costillas anteriores. Con esto justifico que no será necesario que lleguen los últimos largueros horizontales del extremo superior a esta última costilla.

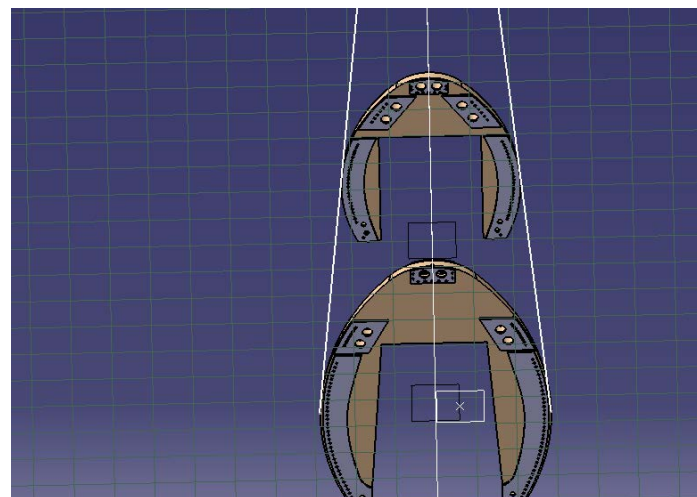
### 7.7.1 Marco cono

Para modelar el marco final usaremos las dos costillas anteriores para extrapolar sus medidas. Primero trazamos dos líneas tangentes a los dos marcos anteriores. Esta vez sí podremos trazar la línea inferior, ya que las dos costillas anteriores están igualmente abiertas.



*Líneas tangentes a las costillas 7 y 8*

A continuación repetimos el mismo paso pero esta vez en el plano XY.

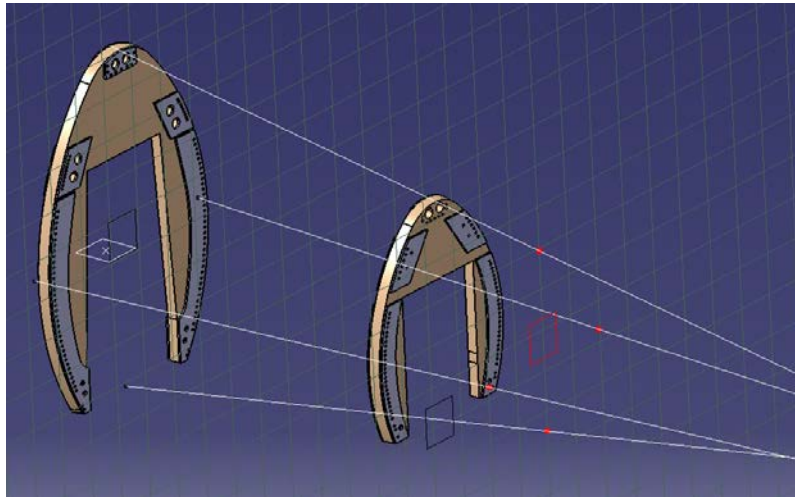


*Líneas tangentes a las costillas 7 y 8*

Una vez trazadas las tangentes, procedemos a colocar el plano en el cual estará nuestra costilla. Este plano se encuentra a 328" de la cabeza del aeroplano, por lo que teniendo en cuenta que la costilla 8 estaba a 346 5/32" podemos conocer el offset que aplicar al nuevo plano.

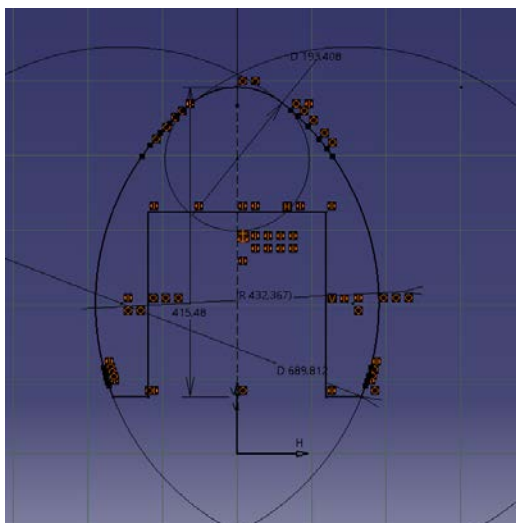
$$\text{Offset} = (358 - 346 \frac{5}{32}) * 25,4 \text{ mm/pulgada} = 300,8 \text{ mm}$$

Tras colocar el plano, obtenemos los puntos de intersección con estas tangentes con la herramienta de Intersect 3D.

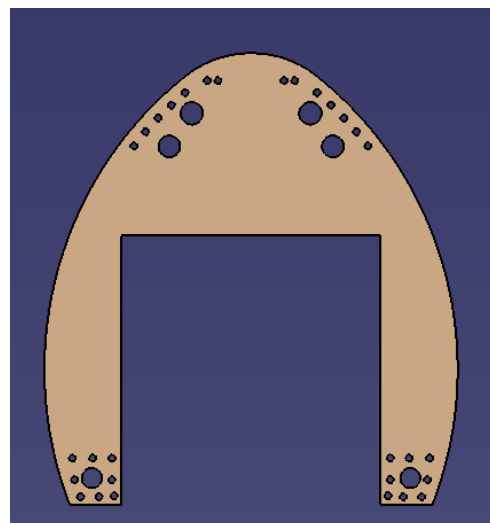


*Puntos de intersección con las líneas tangentes*

De esta forma, ya conocemos el contorno aproximado de nuestro nuevo marco. Imitando una ovoide de 3 circunferencias obtenemos el sketch que luego extruiremos dándole un espesor de 1/5". Por último haremos los taladros pertinentes, teniendo en cuenta que deben ser de 1 1/4" para alojar la cabeza del remache.



*Sketch del marco cono*

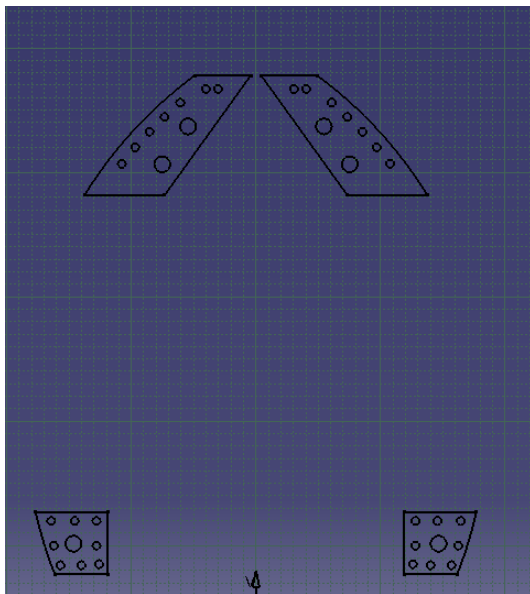


*Marco cono modelado*

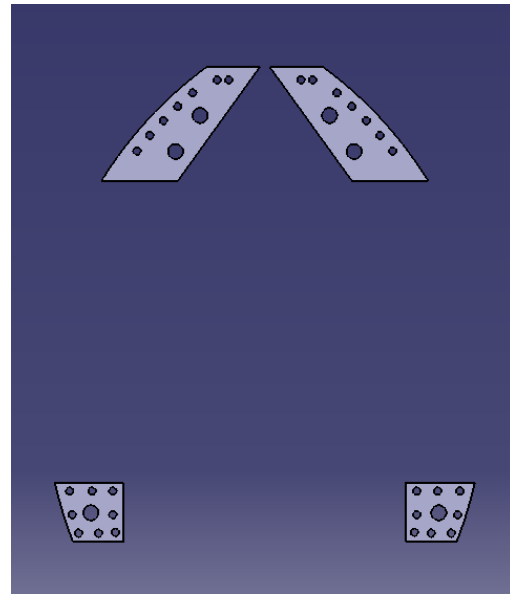
### 7.7.2 Refuerzo final

Este último marco solo dispone de un refuerzo en su cara delantera, ya que será ahí donde acaben de ensamblarse los largueros horizontales. Por su cara trasera solo tendrá que soportar el peso de la cubierta que le colocaremos más adelante.

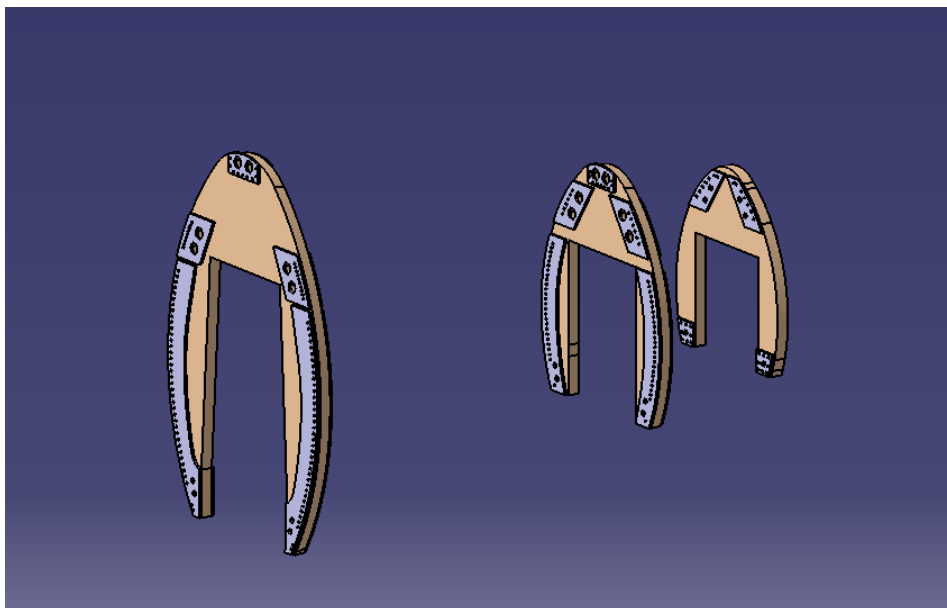
A continuación usaremos la proyección del contorno del marco y de los taladros. Así conseguimos asegurar la concentricidad de los taladros. Recordamos que estos agujeros tienen un diámetro de 1/4" los más pequeños y 1" y 1/2" los mayores. Usaremos la operación Scaling para escalar únicamente el contorno con respecto al centro del marco. De esta forma nos ahorramos realizar el perfil y guía para ejecutar la operación de Slot.



Sketch del refuerzo final



Refuerzo final modelado



Costillas 7, 8 y cono colocadas según plano



## 7.8 Costilla 2

La costilla 2 supone un cambio de topología y de concepto con respecto al resto de costillas anteriores. Esta costilla está claramente diseñada para soportar las cargas sufridas tanto por el aguante del motor como la panza del Corsair. Veremos que está compuesta por vigas de refuerzo longitudinales y transversales, probablemente para suplir la abertura superior. Esta abertura tiene la función de acoplar el panel de mandos del avión, así como la unión del comienzo de la cabina al fuselaje.

De esta costilla no disponemos medidas reales, pero si tenemos unos planos en alzado con mucho detalle. Así, podremos dar más criterio a las hipótesis que hagamos sobre la funcionalidad de cada una de sus partes.

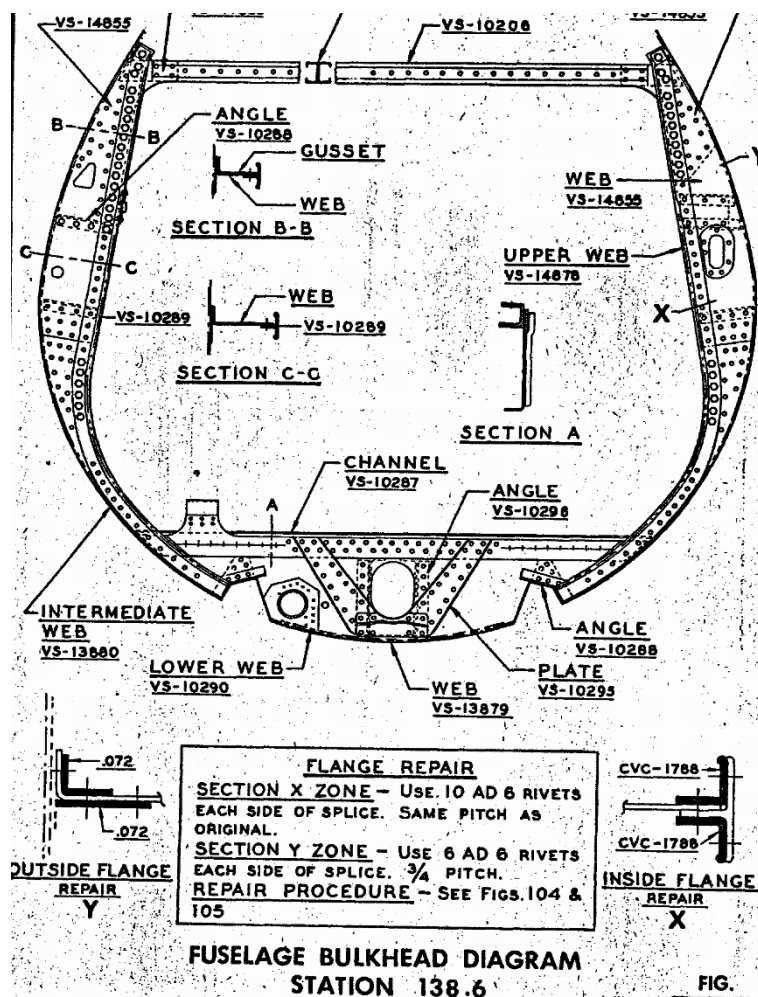


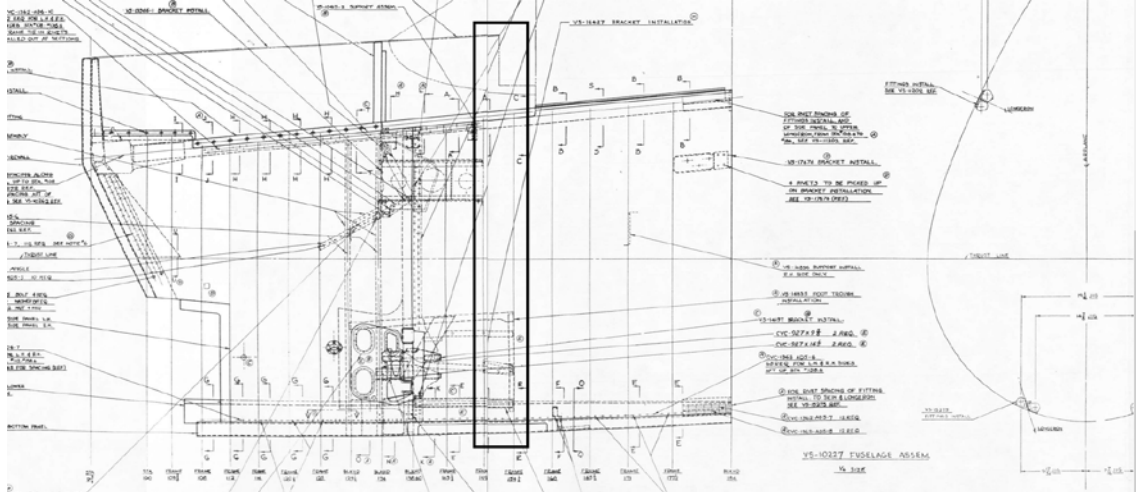
Diagrama de la costilla 2

Observando la imagen, decidimos dividir este peculiar conjunto en: marco, viga de refuerzo, viga superior, marco inferior y refuerzo inferior.



### 7.8.1 Marco 2

Para obtener medidas de un plano o diagrama en el que no aparece ninguna medida real, tendremos que buscar una cota que si aparezca en otro plano de forma real y así usarla para obtener la escala de nuestro plano.



Plano perfil del fuselaje

Sabemos que este plano tiene una escala de 1:17,337 por tanto la altura del marco 2 es de 1071 mm, medida que ya podemos usar para obtener la escala del siguiente diagrama, la cual será de 1:9,883.

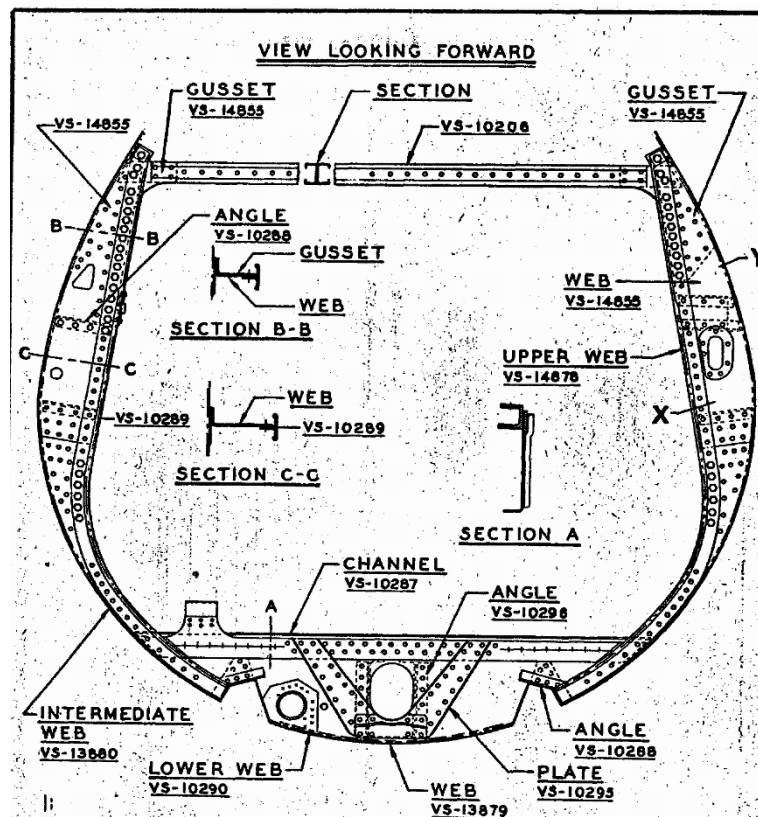
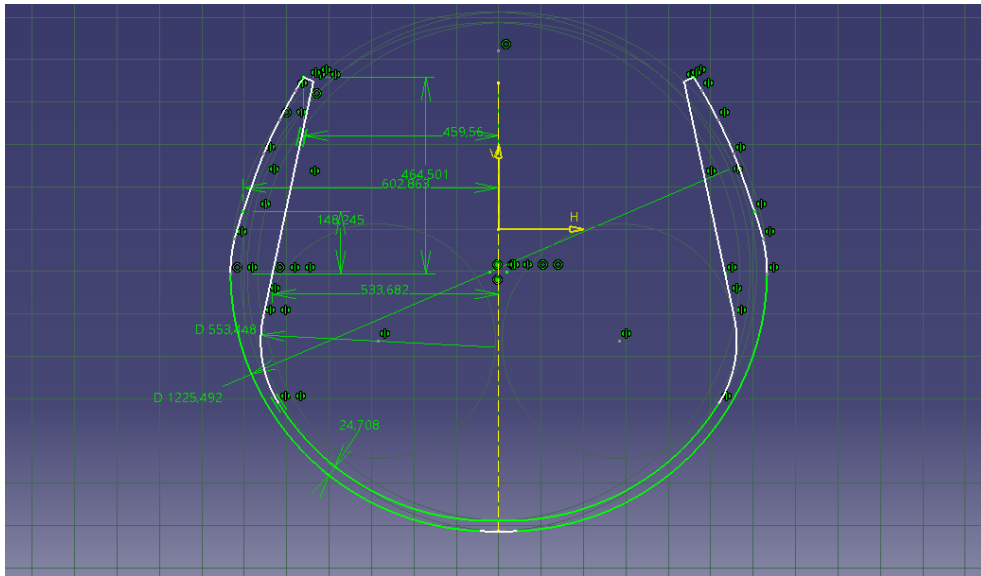


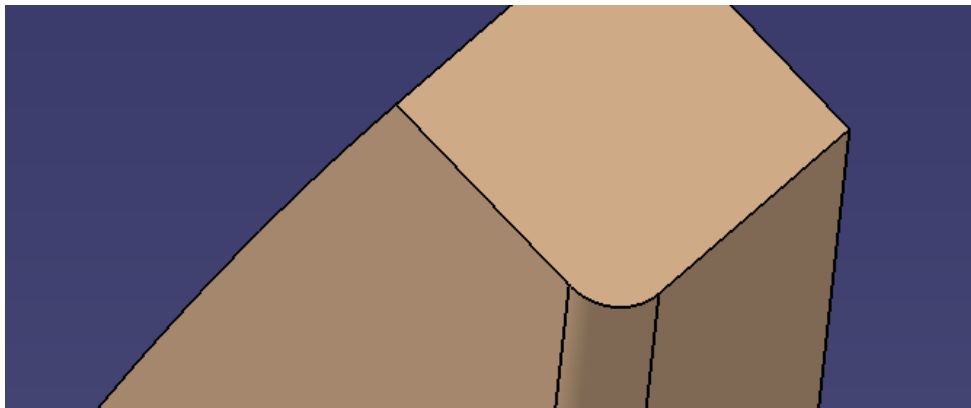
Diagrama de la costilla 2

El marco en cuestión trata el contorno exterior del plano anterior, desde la parte superior hasta las oquedades simétricas inferiores. Tomando varios puntos del contorno obtenemos el siguiente sktech.



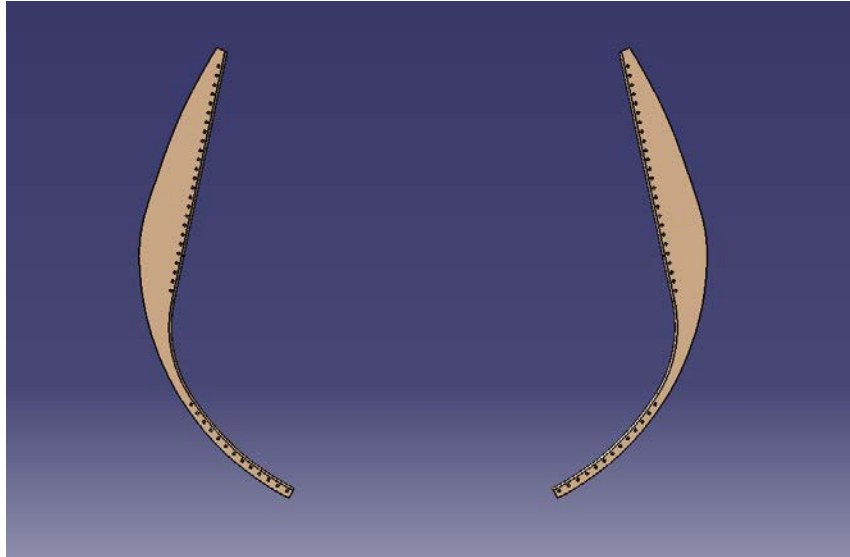
*Sketch marco 2*

Tras hacer el Pad de este sketch continuamos con una operación de acabado, en este caso un Edge Fillet mediante el cual redondeamos de unos 5 mm de una arista sobre la que no irá apoyada ninguna otra pieza.



*Redondeado de una arista del marco 2*

Por último, procedemos a colocar los taladros de los remaches además del vaciado inferior que alojará el marco inferior, esta vez una pieza independiente. Daremos un espesor de 26,31 mm y colocaremos mediante la operación Hole y luego User Pattern unos 80 taladros en la periferia del marco.

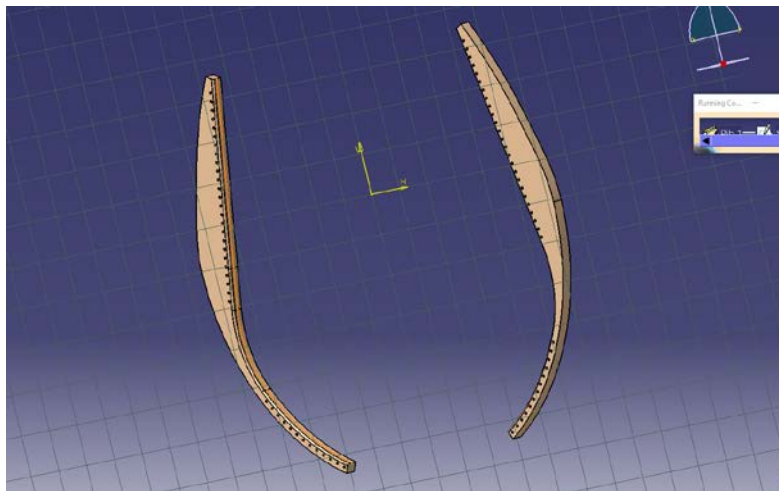


Marco 2

### 7.8.2 Viga de refuerzo 2

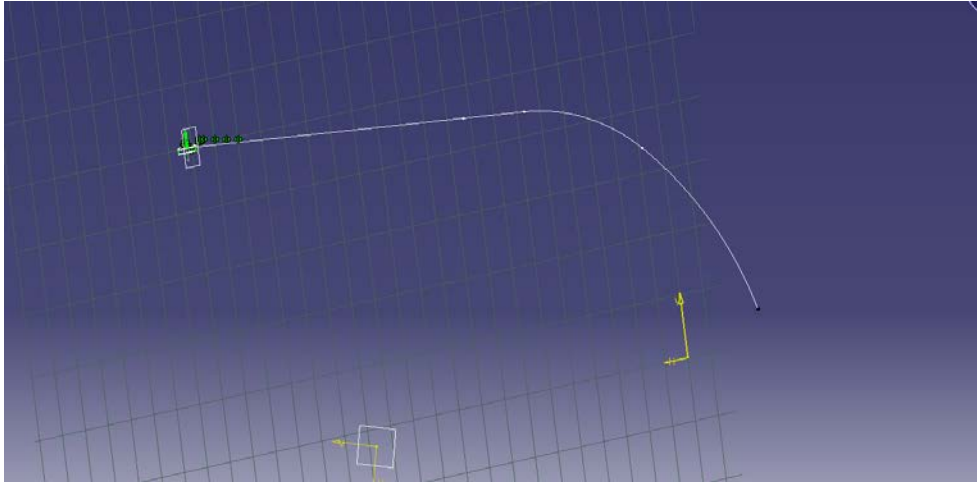
Como se observa en el diagrama superior, se puede intuir una pieza aparte por el contorno interior del marco. Debido a la presencia de los taladros para unos posibles tornillos o remaches, establezco la hipótesis de que se trata de una viga independiente que refuerza dicho marco.

En primer lugar, decidimos usar la operación de Rib para ejecutar dicha pieza, ya que es la que nos permite construir un perfil con eje o guía variable. Usamos como guía una proyección del contorno sobre el plano de trabajo.

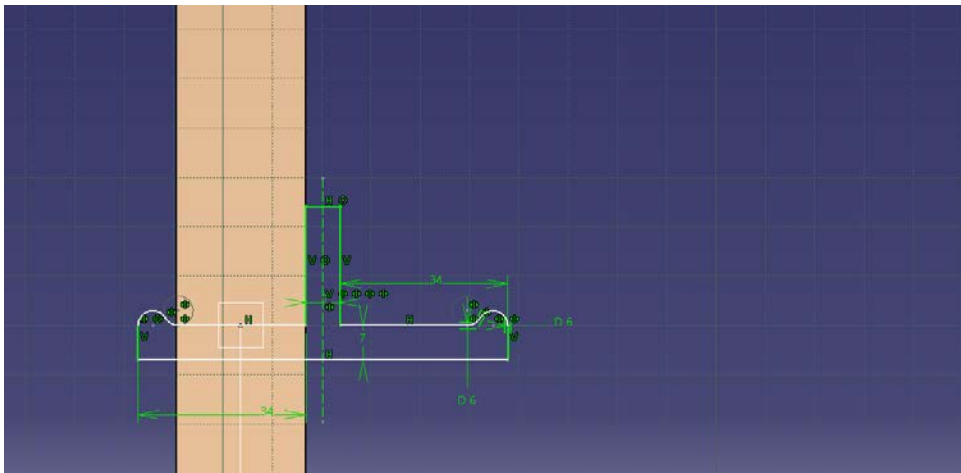


Guía de la viga de refuerzo 2

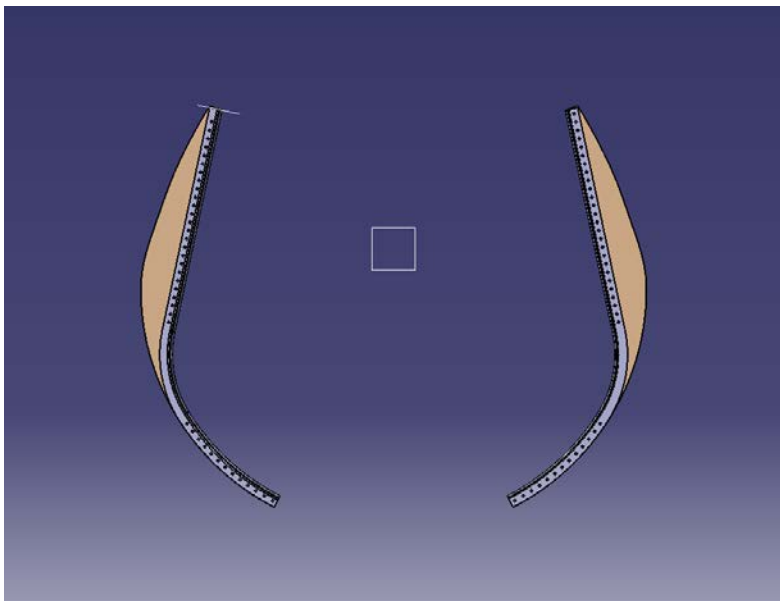
Como segundo paso será colocar un plano perpendicular a dicha curva, plano en el que trazaremos el sketch de nuestra perfil. A continuación, ejecutamos el Rib para completar nuestra viga de refuerzo y posteriormente proyectar los taladros mecanizados antes en nuestro marco.



*Plano perpendicular a nuestra guía*



*Perfil de la viga de refuerzo 2*

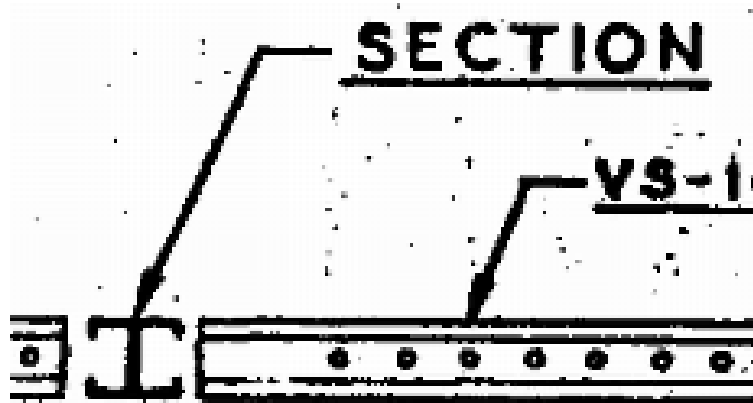


*Viga de refuerzo 2 modelada*

### 7.8.3 Viga superior 2

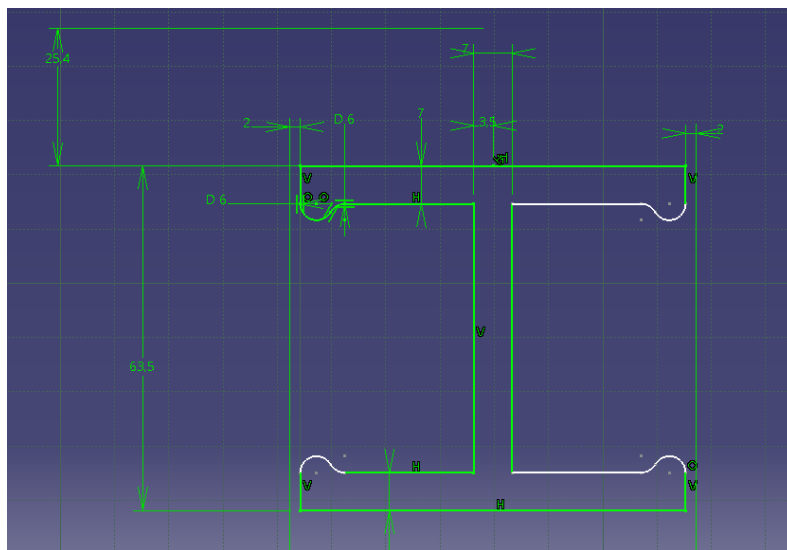
En el diagrama se observa una viga que une las dos partes de la viga de refuerzo unida al marco. Esta viga será sobre la que se apoye toda la placa de sensores y mandos del avión.

Para su modelado, solo tendremos que imitar el perfil que se nos presenta en la siguiente imagen, y darle las dimensiones tomadas cuidadosamente. Se trata de un perfil en H.



Sección de la viga superior 2

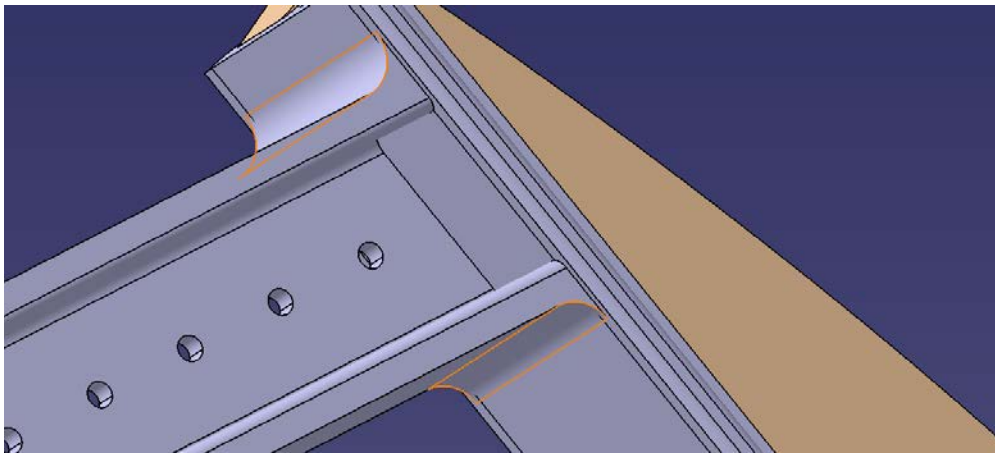
Si dibujamos el sketch de esta sección a su altura correspondiente, obtenemos el siguiente perfil. Se trata de un perfil de 63,5 mm x 71 mm x 7 mm.



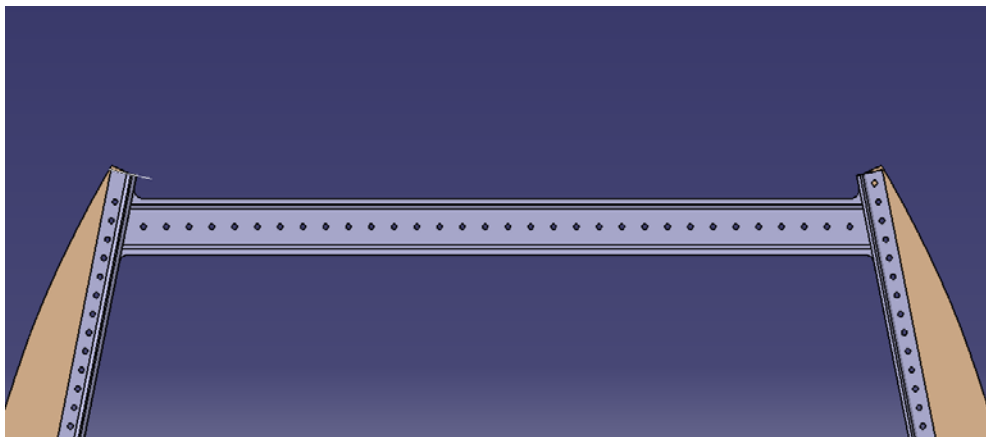
Sketch del perfil de la viga superior 2

Por último, solo tendremos que realizar el Pad, pero esta vez aplicando la opción de at the next, la cual nos permite modelar una viga hasta el próximo sólido que se encuentre en su dirección de extrusión. También haremos los 20 taladros que se observan en el diagrama, los cuales servirán para sujetar el panel de sensores y mandos de control del Vought Corsair.

La unión entre la viga superior y las vigas de refuerzo solo puede existir mediante un cordón de soldadura, el cual se ha simulado con la operación de Edge Fillet.



*Unión soldada de viga superior 2 y viga de refuerzo 2*

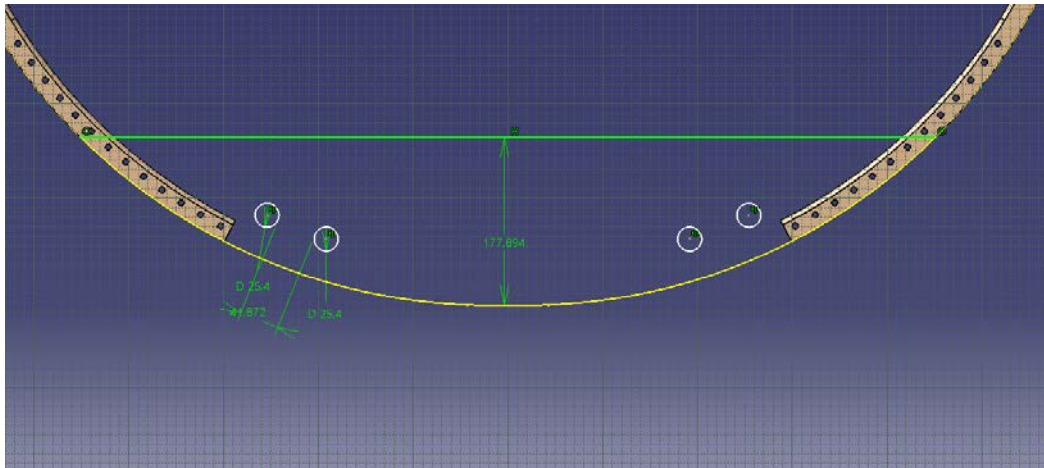


*Viga superior 2 modelada*

#### *7.8.4 Marco inferior 2*

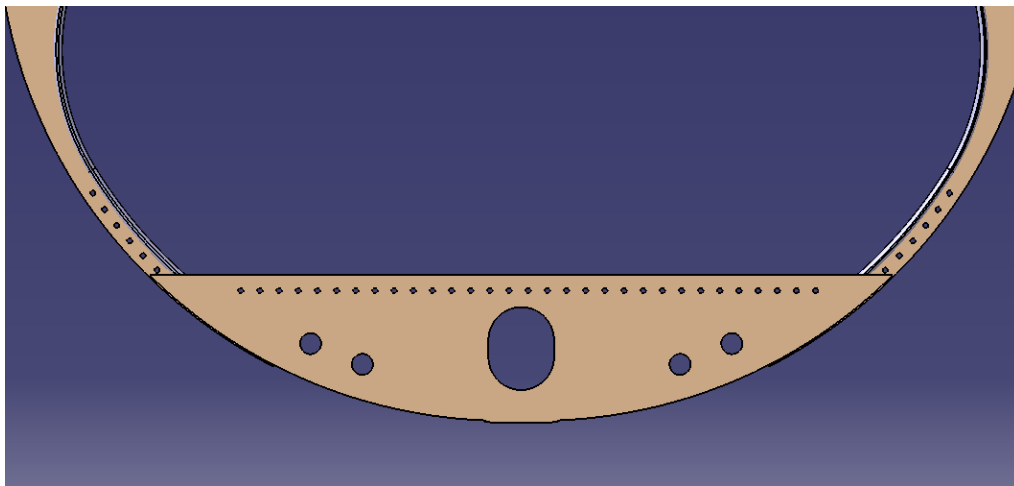
El marco inferior es una pieza que va unida a través de un refuerzo inferior el cual va soldado a nuestra viga de refuerzo. Esta pequeña porción de marco parece comportarse como parte del sistema de unión del ala al fuselaje, ya que presenta unos orificios de un diámetros y formas considerables. Además, esta pieza se encontrará justo encima de la mitad del ancho de la panza del caza.

Para su modelado partiremos del marco ya construido y del diagrama proporcionado. Por supuesto, no olvidaremos los taladros de este marco, los cuales serán de 1/4" para los remaches y 1" para los posibles bulones que unirán la panza con el fuselaje.



*Sketch del marco inferior 2*

A continuación, le daremos un espesor de 1/2", ya que no disponemos de ninguna información sobre ello. Elegimos este espesor porque, además de ser normalizado, no supera el espesor del marco principal que lógicamente debe ser el de mayor envergadura. El taladro central será un óvalo de 100 mm de alto por 79 mm de ancho.

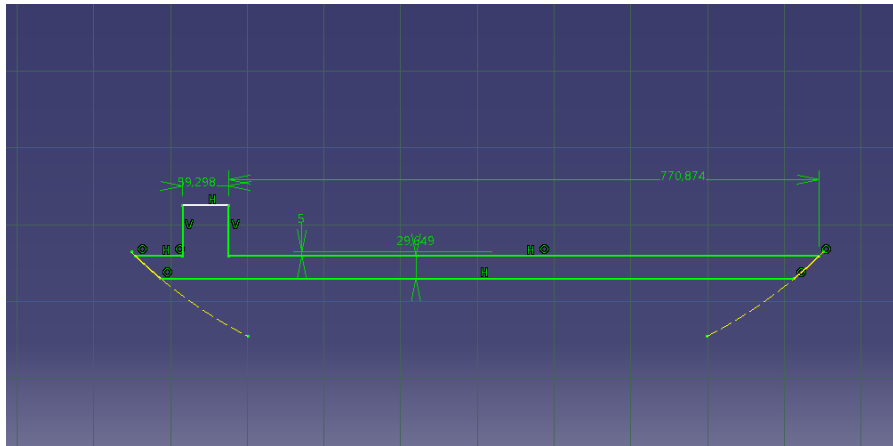


*Marco inferior 2 modelado*

#### *7.8.5 Refuerzo inferior 2*

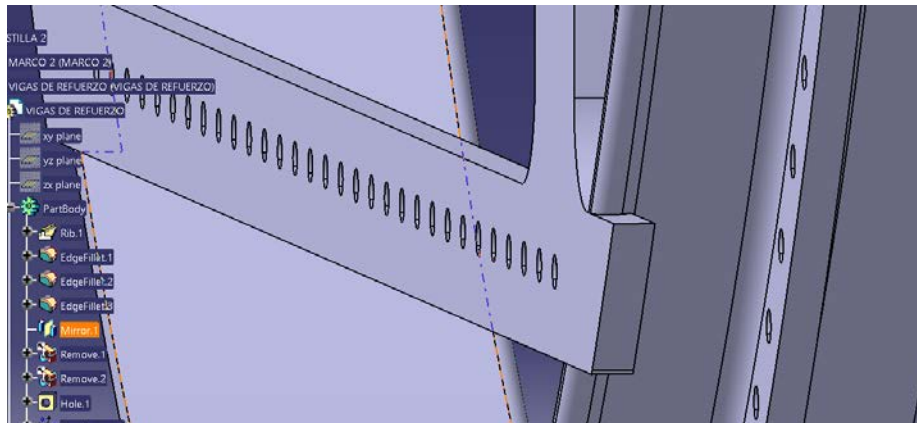
El refuerzo inferior es el encargado de unir el marco inferior con el conjunto de esta costilla. Este refuerzo irá de nuevo soldado a la viga de refuerzo. Su modelado será sencillo ya que disponemos del marco, las vigas y refuerzos como base. Además, los taladros serán inmediatos, solo tendremos que proyectar su contorno.





Sketch del refuerzo inferior 2

A este refuerzo le daremos un espesor de 7,69 mm, esto es porque el acoplamiento entre este refuerzo y la viga debe ser sin salientes, es decir, cuando apliquemos la operación Remove sobre la viga con nuestro refuerzo ya extruido, este debe quedar de la siguiente forma.



Refuerzo inferior 2

Si lo ensamblamos todo adecuadamente, comprobamos que se ha realizado un modelado bastante fiel.

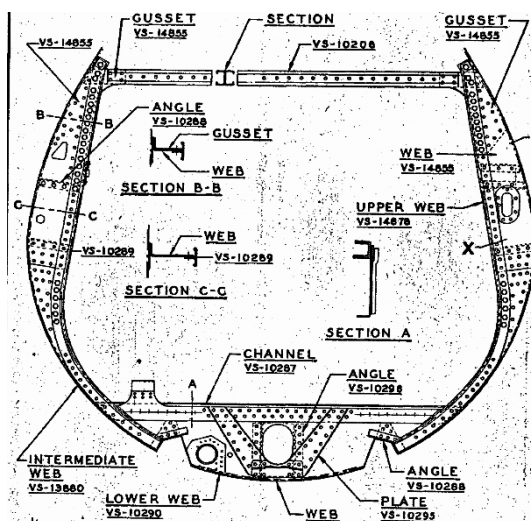
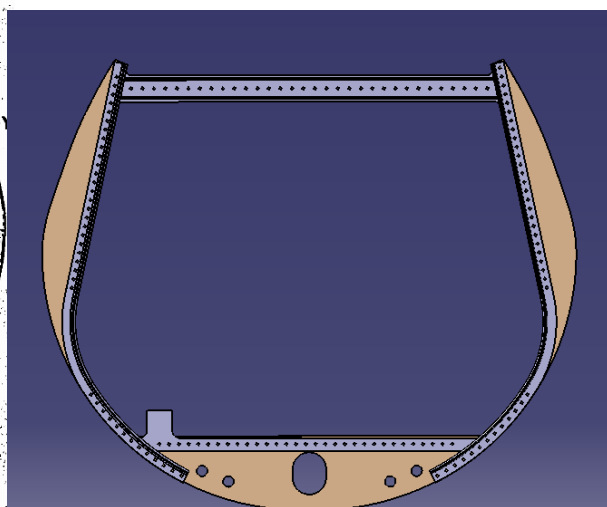


Diagrama de la costilla 2



Costilla 2 modelada

## 7.9 Costilla 1

Nos encontramos ante el modelado de la última costilla. Sin duda, es la costilla que presenta una mayor diferencia tanto funcional como topológica con respecto al resto. El modelado de esta costilla se basa en un diagrama similar al que ya usamos en el modelado de la costilla 2.

Esta costilla se denomina firewall. El firewall es una medida de seguridad pasiva contra posibles incendios provenientes del grupo motor. Este sistema de seguridad consiste en una placa o chapa que cierra completamente el paso de oxígeno, y por tanto de las llamas, desde la cabeza hasta la cola del motor.

Como veremos a continuación, el marco solo hace de escuadra soporte de dicha placa, la cual presenta una forma que permite intuir la posible situación de la panza del avión.

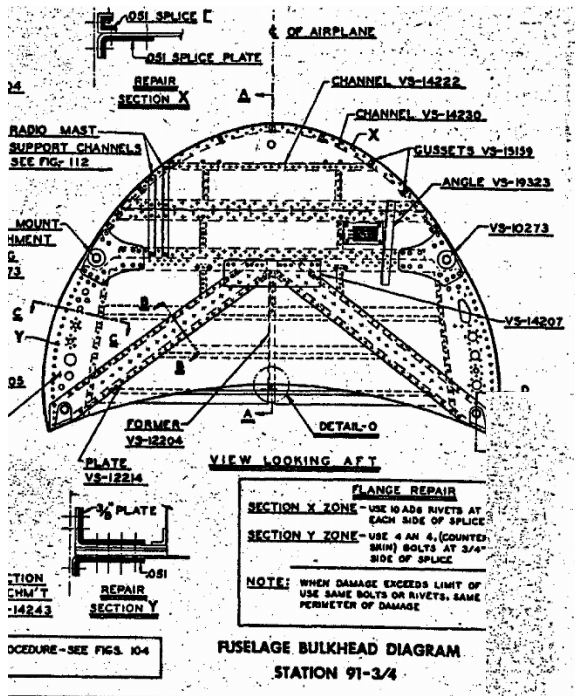
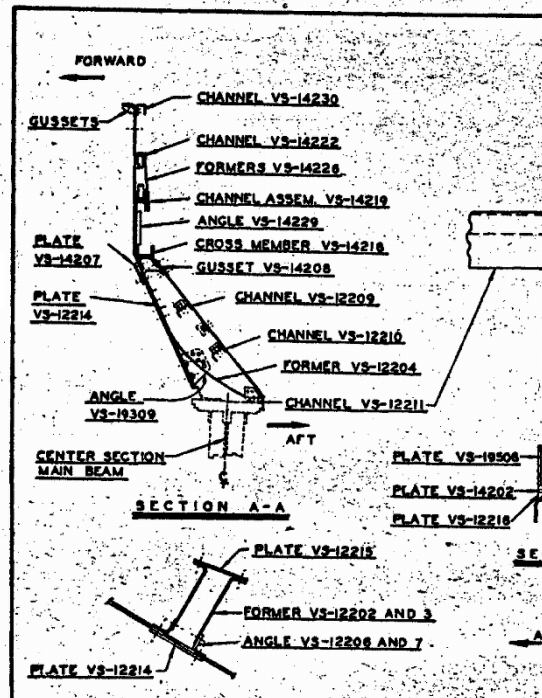


Diagrama de la costilla 1

En segundo lugar, nos fijaremos en el perfil de dicho conjunto, donde encontraremos unos soportes o cartelas y podremos dimensionar las vigas transversales que atraviesan dicho conjunto, así como la inclinación del propio firewall.

Para el diseño de esta costilla necesitaremos la presencia de dos vistas y planos del conjunto.

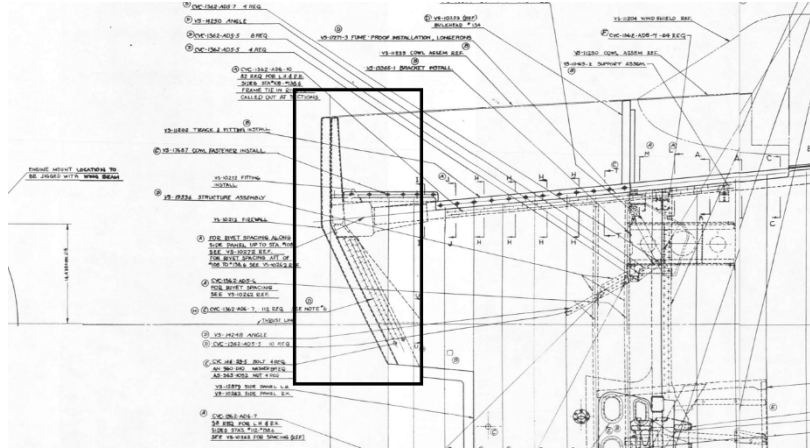
Primero dispondremos de una vista frontal del firewall, donde se observan el marco y las diferentes vigas que rigidizan la estructura.



Perfil del Firewall

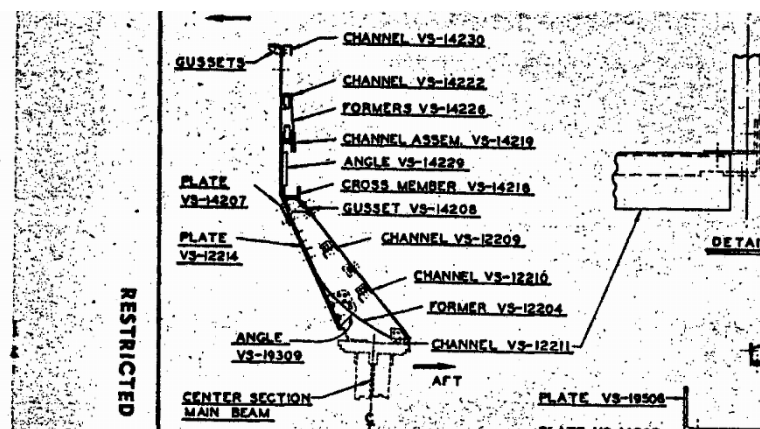
### 7.9.1 Marco 1

Para el modelado de este marco primero debemos saber la inclinación que presenta, como podemos observar en la vista de perfil. Para ello calcularemos la escala a partir de otro plano del cual si conocemos medidas reales.



Perfil del fuselaje

A partir de este plano del perfil del fuselaje, podemos saber la medida real de, al menos, la altura de la costilla 1. Finalmente esta cota es de unos 856 mm. Usaremos esta medida para escalar el siguiente diagrama.

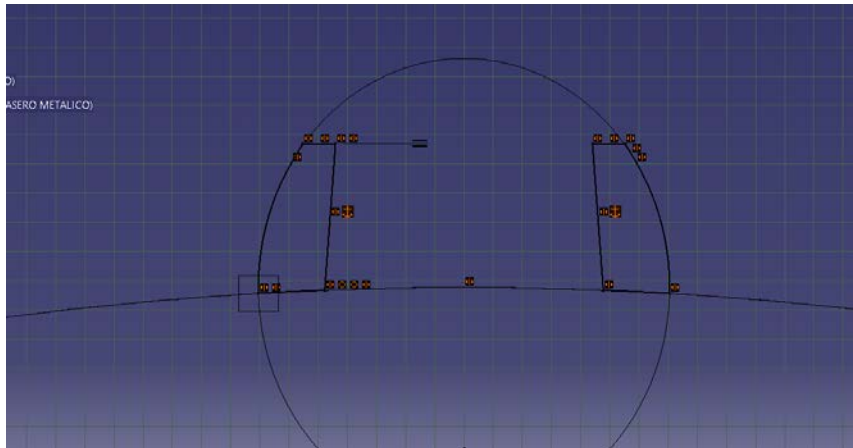


Perfil de la costilla 1

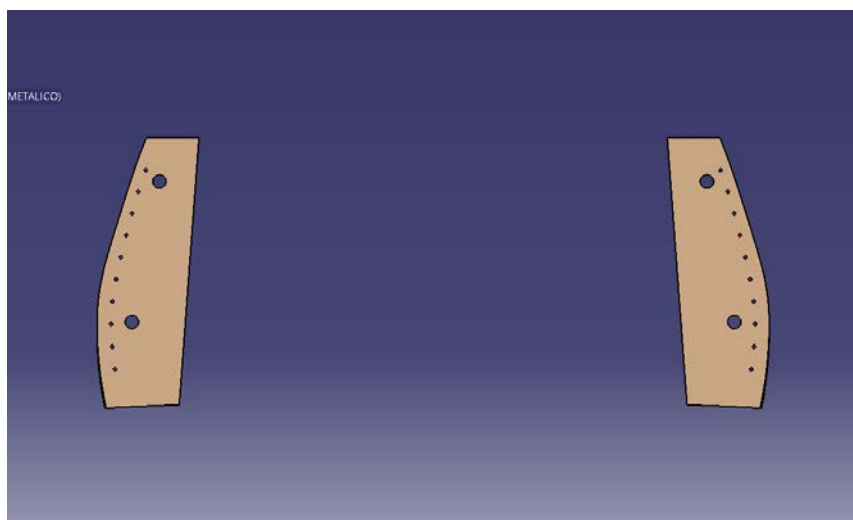
Con la cota anterior y tomando medidas, obtenemos que la escala de nuestro boceto es de 1:18,3. Por tanto, procedemos a dibujar nuestro sketch, el cual trazaremos en un plano inclinado la cantidad medida en la vista anterior.

A este nuevo marco le daremos un espesor de 26,31 mm, espesor que hemos elegido como normalizado para todos los marcos del fuselaje. Por último, ejecutaremos los taladros de 6,35 mm para los remaches y 1" para los largueros que llegarán desde la costilla 1.

La función principal de este marco, que se encuentra dividido en dos, será similar al honeycomb usado en materiales compuestos, dar mayor rigidez a la placa plegada que es la que tiene la funcionalidad principal.



*Sketch del marco 1*



*Marco 1 modelado*

### *7.9.2 Refuerzo delantero 1*

Este refuerzo delantero y parte más adelantada de nuestro fuselaje a modelar, será el llamado firewall. Un firewall es un dispositivo de seguridad pasivo, similar al cinturón de seguridad de un automóvil, que previene daños al piloto por posibles llamas provenientes del motor. En concreto, este sistema de seguridad es más propio de aviones o monoplazas de competición, los cuales corren un mayor riesgo de incendio por avería o accidente.

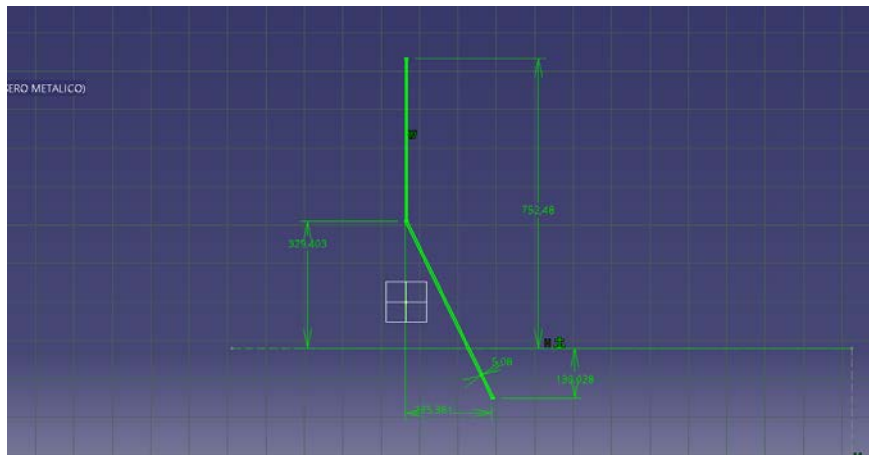
En la época la cual fue diseñado este caza, 1941, un firewall no era más que una placa de acero que separaba el grupo motor de la cabina del piloto y el resto del avión. Actualmente, este dispositivo suele estar fabricado de materiales compuestos, como fibra de carbono con núcleo de honeycomb, o también otras fibras como fibras de vidrio o basalto.



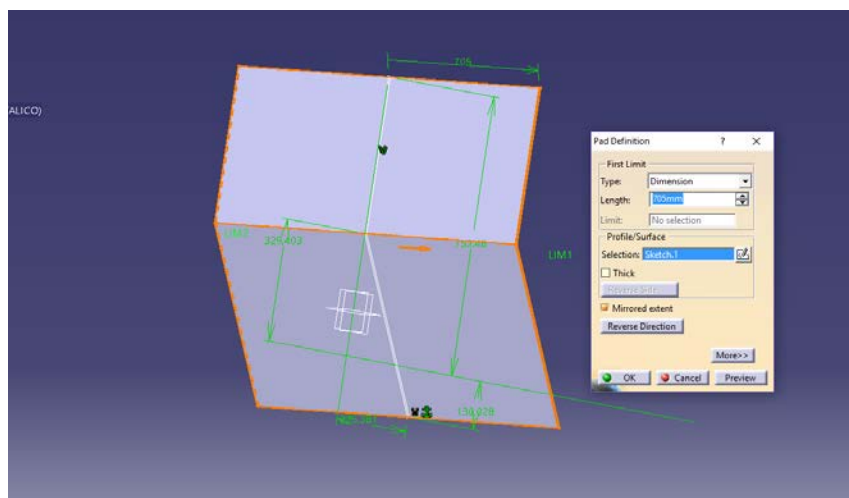


*Firewall de fibra de carbono en un chasis de competición*

Como ya disponemos del contorno del marco 1, solo tenemos que colocar la altura para modelar nuestra chapa, ya que ésta no dispone ningún vaciado central como ya vimos en costillas anteriores. Primero haremos un sketch en el plano XZ que luego extruiremos en el eje Y.

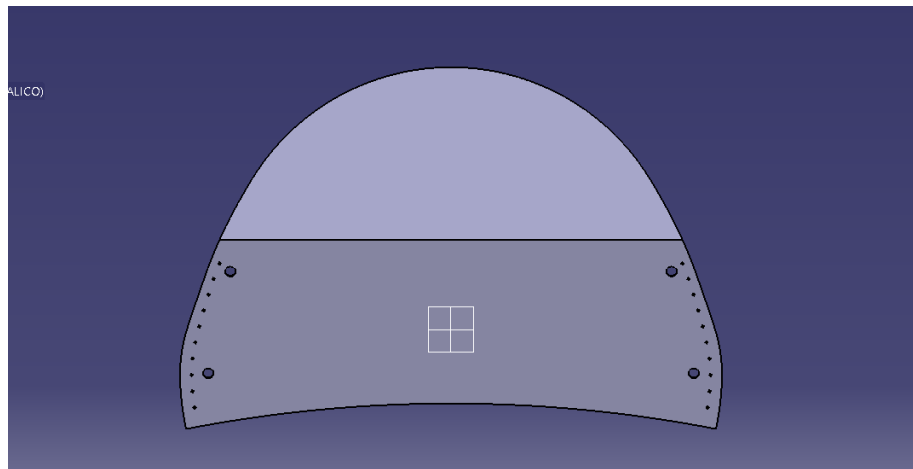


*Sketch del firewall*



*Extrusión del firewall*

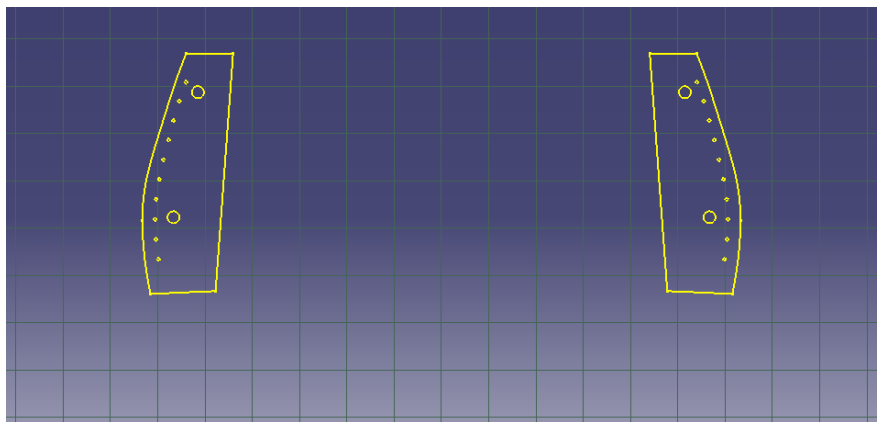
Finalmente haremos un vaciado exterior para adaptar el firewall a la futura cubierta que cubrirá esta zona del morro del Corsair y los taladros de para los remaches y los largueros horizontales.



*Firewall modelado*

### 7.9.3 Refuerzo trasero 1

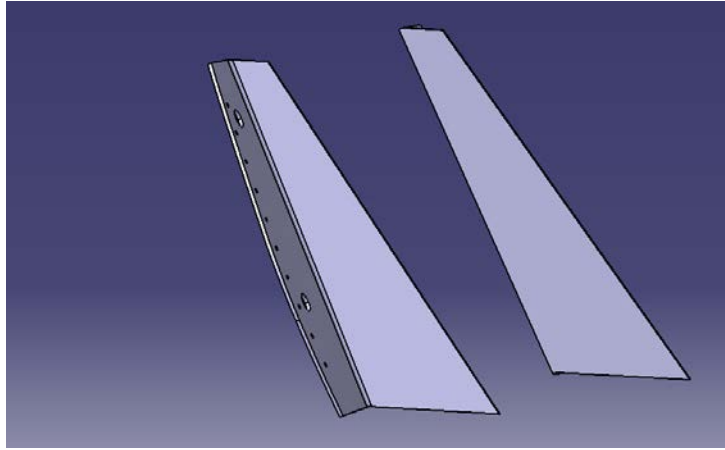
Este refuerzo será el más sencillo de modelar, ya que consistirá en unas placas iguales a las partes del marco 1 que harán de “sandwich” imitando a la fibra de carbono con núcleo. Se trata de una pieza observada en plano y cuya hipótesis tomada le aporta la funcionalidad.



*Sketch del refuerzo trasero 1*

Para acabar con esta pieza, colocaremos unas cartelas que rigidizarán esta costilla que no tiene el grosor de las anteriores. Además servirán de apoyo sobre la panza que irá colocada justo debajo.

Ambas piezas, tanto la plancha trasera como las dos cartelas que se ven en el diagrama del perfil de la costilla, serán del mismo espesor que el resto de refuerzos colocados en las demás costillas, de 1/5” o 5,08 mm.

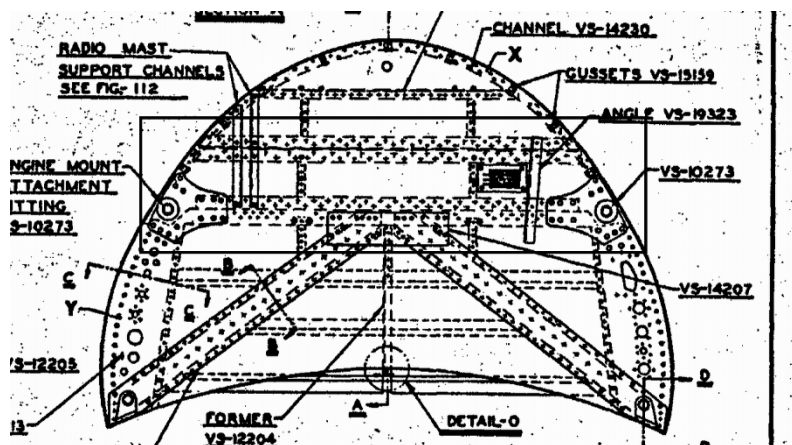


Refuerzo trasero 1 modelado

#### 7.9.4 Vigas rigidizadoras 1

Vamos a proceder al modelado de las vigas transversales que se aprecian en el perfil, las cuales cumplen la función de dar mayor rigidez a la chapa de 1/5" que actuará como firewall. Obviamente, esta costilla no es una costilla como las anteriores, cuya función principal era sostener el fuselaje del avión. Por tanto, podemos apreciar que es mucho más esbelta y fina, lo que nos obliga a colocar elementos no demasiado voluminosos que mejoren las características mecánicas de este conjunto.

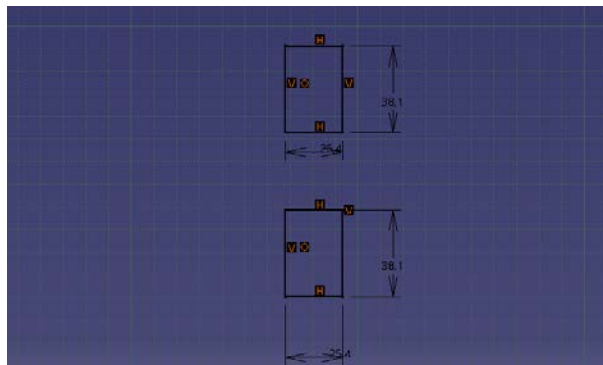
En esta parte va colocada la panza del avión, por lo que la torsión provocada por la flexión de sus alas se transmitirá al fuselaje, comenzando por esta costilla. Es por eso que estos elementos son imprescindibles para la integridad del fuselaje y del Vought Corsair.



Vigas transversales de la costilla 1

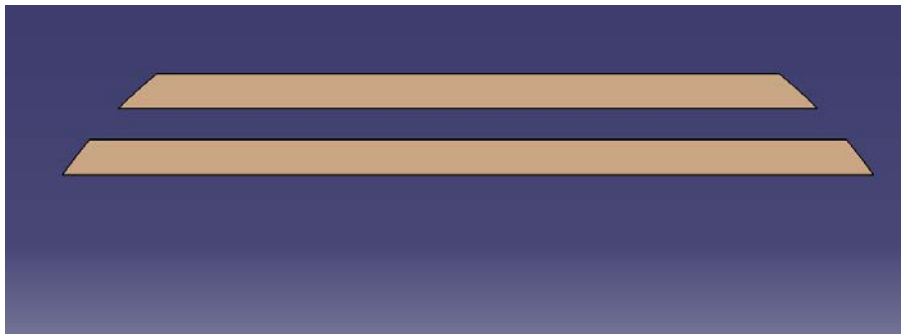
A partir de esta imagen, obtendremos la altura y supondremos que el espesor de estas vigas macizas es alrededor de 1", 25,4 mm.





*Sketch de las vigas rigidizadoras*

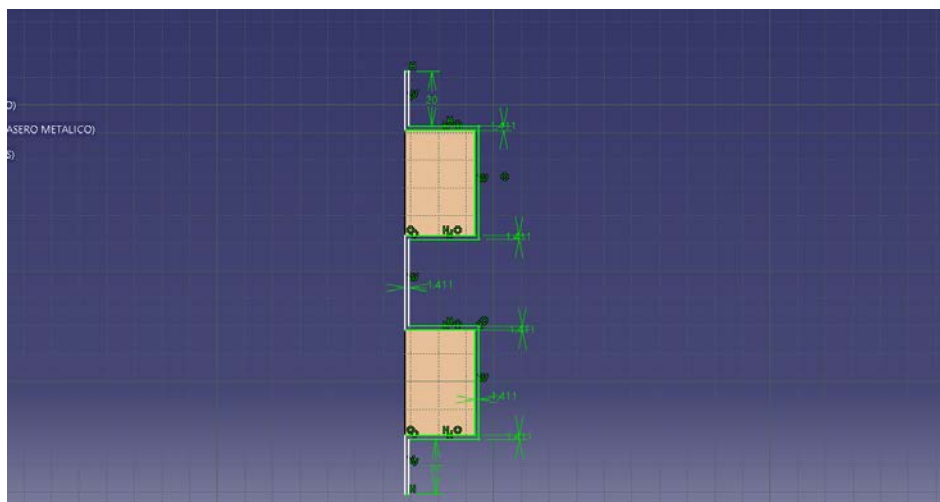
Una vez extruidas, procederemos a realizar un vaciado de los extremos con la forma del contorno del firewall, ya que estas vigas no pueden sobresalir por la cubierta.



*Vigas rigidizadoras*

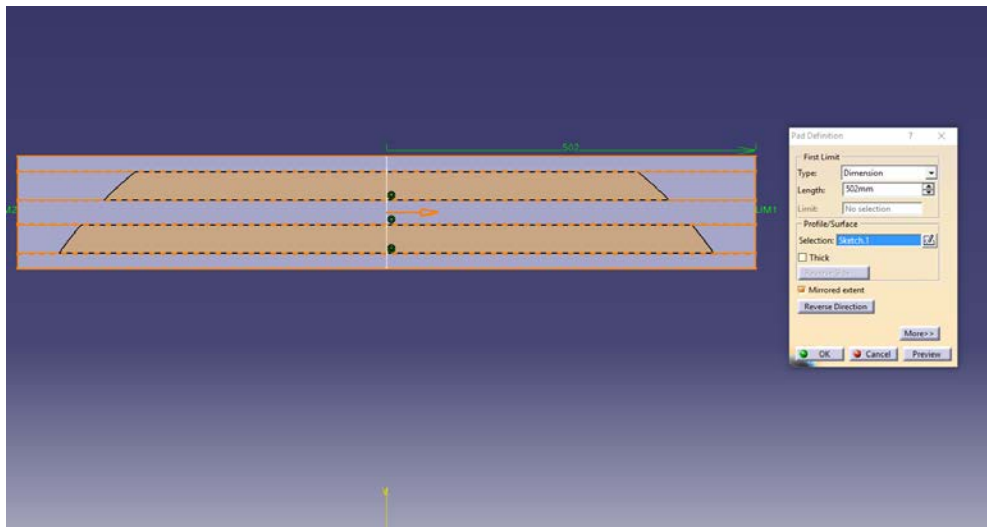
### 7.9.5 Soportes 1

Esta última pieza del conjunto costilla 1 tiene el objetivo de dar soporte a las dos vigas rigidizadoras anteriores. No serán más que unas chapas plegadas de espesor 1,5 mm soldadas al firewall o refuerzo delantero, y que darán cobijo a nuestras vigas transversales.



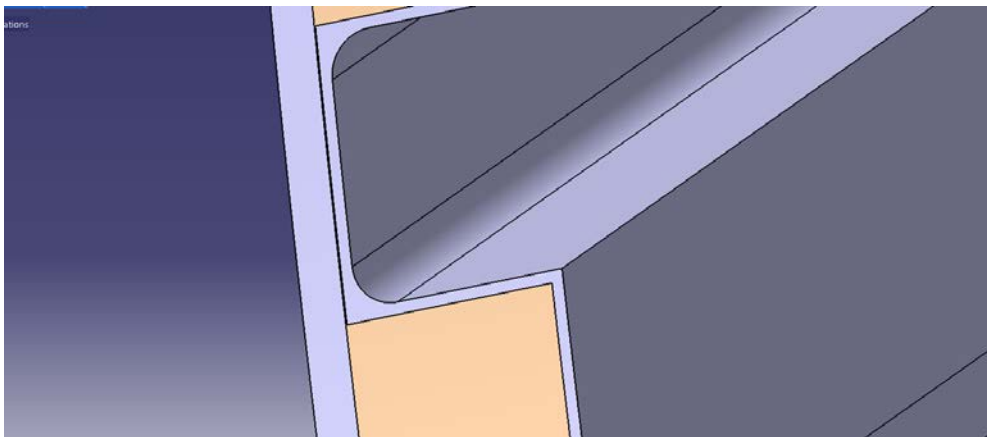
*Sketch de los soportes*

Seguiremos el mismo protocolo para modelarlos que el seguido en las vigas. Daremos una longitud sobrante en la operación de Pad para luego vaciar los extremos con el mismo contorno que el firewall.



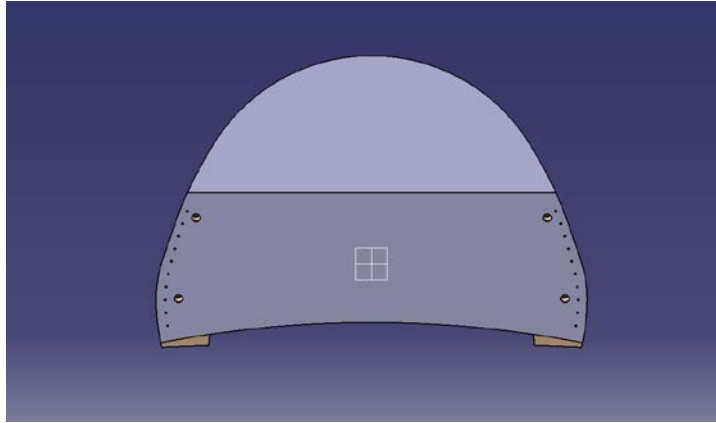
*Extrusión de los soportes de las vigas*

Por último, simularemos tanto el plegado como el soldado de los soportes al firewall. Para ello usaremos la herramienta de edge fillet, redondeando estas aristas con un radio de 5 mm.

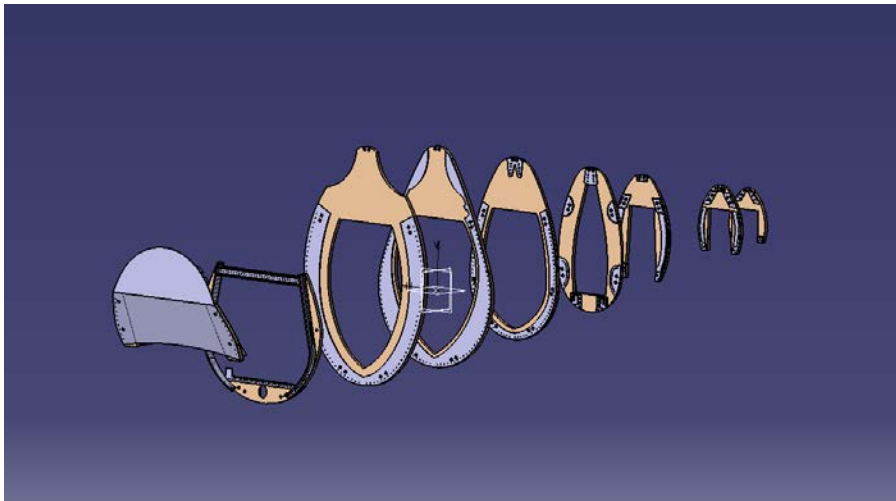


*Detalle de redondeo de las aristas de los soportes*

Por último, colocaremos la costilla completa entre el resto de costillas, ya que sabemos que se encuentra a 91 3/4" del cono de hélice. Con esta costilla ya completa, tenemos las 9 costillas principales que componen el fuselaje.

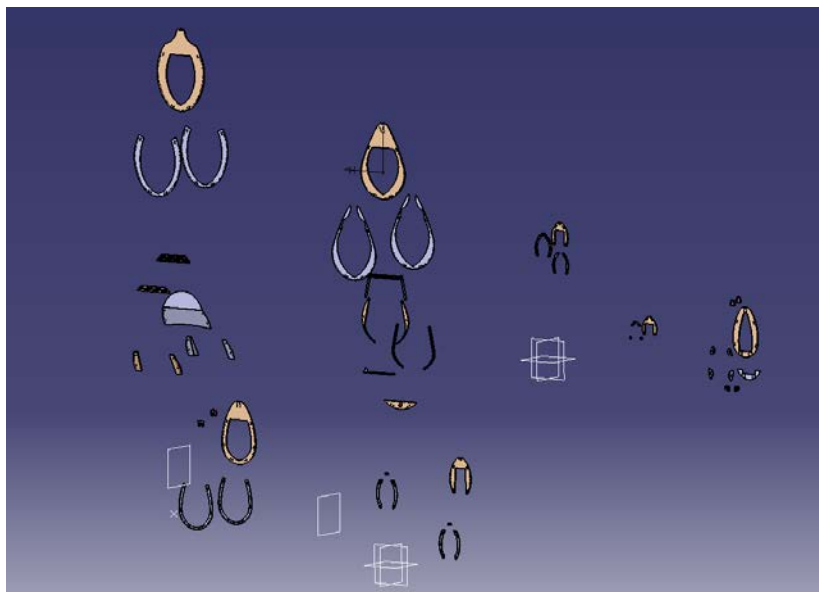


*Costilla 1 modelada*



*Costillas colocadas en el fuselaje*

Para tener una mejor visión del número de piezas modeladas hasta ahora usaremos la herramienta Explode para dispersar todos los Parts.



*Explosionado de todas las costillas*



*Explode*

## 7.10 Largueros horizontales

Como cualquier estructura, ya sea un chasis de un vehículo o un encofrado de un edificio, todas se dividen en unas secciones principales, que absorben las cargas, y unos largueros o tirantes que las reparten o conducen por toda la estructura.

Como ejemplo antes de introducirnos en el modelado de los largueros de nuestro fuselaje, presentamos otros ejemplos usados en la industria.



*Estructura de un edificio*

Aquí presenciamos una estructura de un edificio, en el que podemos diferenciar cada piso y los pilares que transmitiran las cargas hasta sus cimientos.



En la imagen de la izquierda podemos ver un chasis del monoplaza ART-16 del equipo ARUS de Formula Student de la Universidad de Sevilla. En él, se observan unos marcos verticales y unos largueros y tirantes que los unen entre sí. Estos largueros cumplen la misma función que unos pilares en un edificio, transmitir las cargas

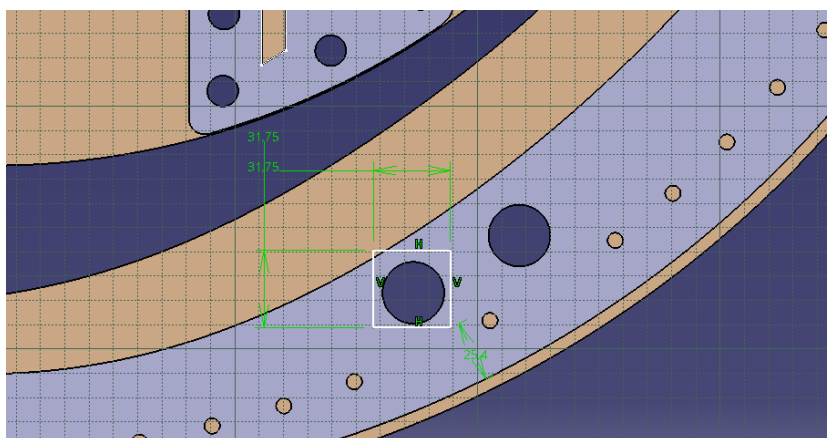
soportadas por estos marcos y conducirlas lo más homogéneamente por el chasis.

Tras dos ejemplos, será más fácil intuir la funcionalidad de nuestros largueros, cuya función principal será impedir en la medida de lo posible la flexión del fuselaje debida a las fuerzas de sustentación provocadas por las superficies de control.

### 7.10.1 Largueros horizontales 5-6

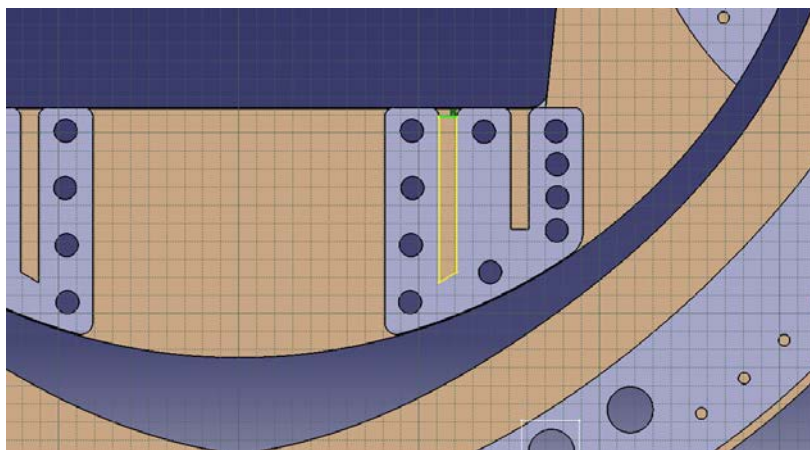
Estos largueros serán los que se sitúen entre las costillas 5 y 6 y por tanto los encargados de convertir en un bloque este par de costillas. Como ya tenemos colocados los refuerzos y los efectuados los taladros, solo tendremos que dibujar la sección de los largueros en ambas costillas y posteriormente trazar unas líneas o guías que usaremos para su modelado.

Ya que el fuselaje será completamente simétrico, solo modelaremos una mitad para luego, mediante la operación de mirror, duplicar estos largueros en el otro lado del fuselaje. Comenzamos con los primeros largueros inferiores, los cuales tienen un extremo ya determinado por el hueco que modelamos en el refuerzo de encaje 6.



Sketch situado en la costilla 5

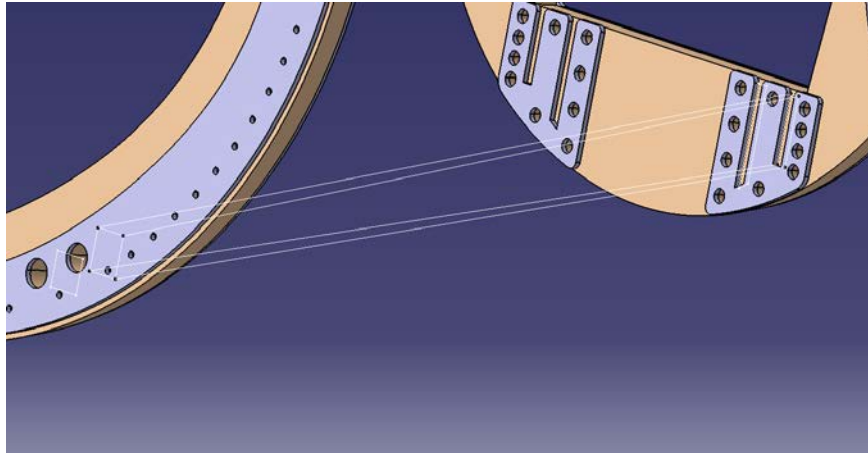
Cuando no quede definida la sección por la topología del refuerzo, está sección será de unas dimensiones normalizadas de  $1\frac{1}{4}$ ", hipótesis tomada debido a la carencia de información al respecto. Aún así, otra sección haría incompatible la colocación del larguero contiguo, debido a la situación de los taladros impuesta en los planos. A continuación, Dibujamos el sketch del extremo en contacto con la costilla 6.



Sketch situado en la costilla 6



Después, debemos trazar líneas que unan los vértices de cada sección con su homólogo contrario. Así, determinaremos la forma final del larguero.



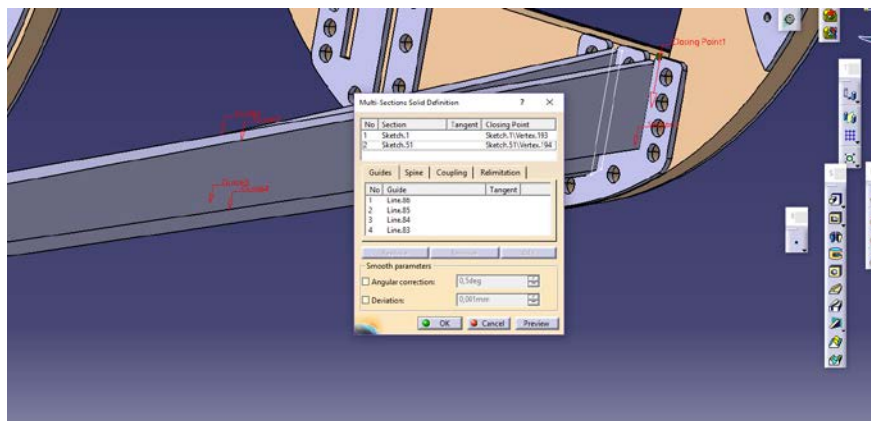
*Aristas del larguero inferior*

Por último, procederemos a usar una herramienta nueva a hasta ahora, Multi-sections Solid. Esta operación permite modelar sólidos cuya sección es variable a lo largo de diferentes líneas, las cuales también pueden ser mixtas.



*Icono de Multi-sections Solid*

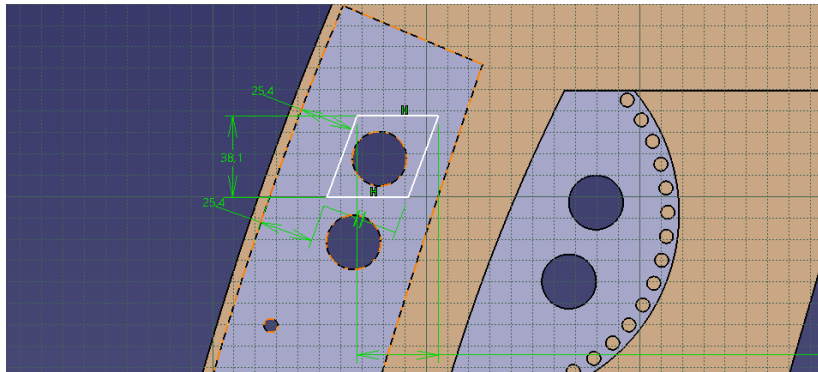
En este caso, debemos aportar la sección de cada extremo y las cuatro líneas que conducirán el modelado y servirán al software para calcular la variación de cada sección a lo largo de toda la viga.



*Operación Multi-sections Solid*

Esta operación suele traer más problemas que los Pad, Pocket o Hole que hemos llevado a cabo hasta ahora. Debemos de tener cuidado de que todos los vértices tienen asignada una línea, de que estás líneas parten desde un punto que pertenece la sección y no un punto superpuesto en su mismo lugar, o que estas aristas no son secantes. Si tenemos cuidado sobre todo lo anterior, no debemos de tener problemas en el uso de esta aplicación.

Repetimos el mismo procedimiento en el resto de vigas. En este bloque, además de las vigas cuadradas de 1 1/4", encontraremos otras de sección oblicua, de 1" x 1 1/2".



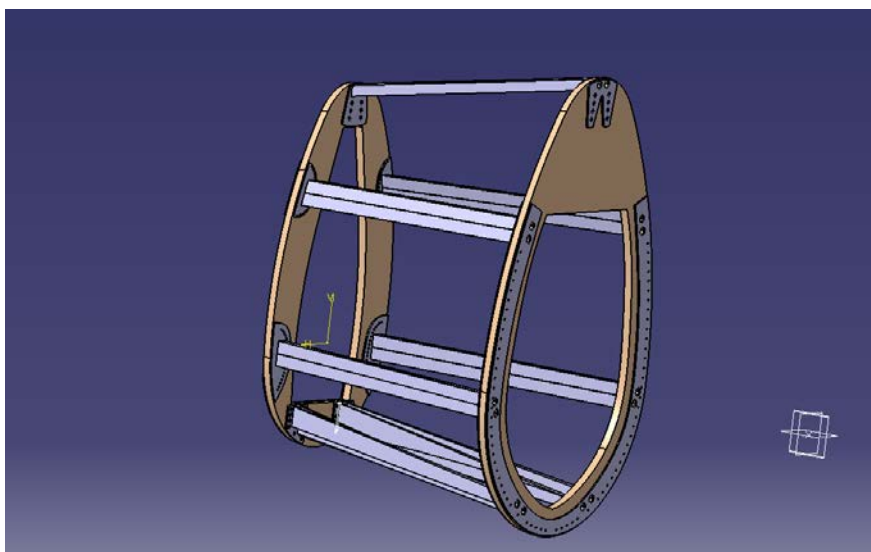
*Sketch del larguero de 25,4 mm x 38,1 mm*

Aunque no disponemos de información sobre estas vigas, se decide que tengan una inclinación, de forma que el conjunto conserve su tendencia cilíndrica a lo largo de todo el fuselaje.

Agruparemos las vigas en tres grupos de las siguientes dimensiones, en milímetros:

1. 4 largueros horizontales de 31,75 mm x 31,75 mm.
2. 6 largueros horizontales de 38,1 mm x 38,1 mm.
3. 4 largueros horizontales de 31,75 mm x 31,75 mm y Sección impuesta en el otro extremo..

Cuando los largueros no sean cuadrados, colocaremos el lado mayor en la vertical mientras que el lado menor será horizontal, de forma que la inercia de la viga sea mayor para flexiones alrededor del eje transversal del avión, el eje Y.

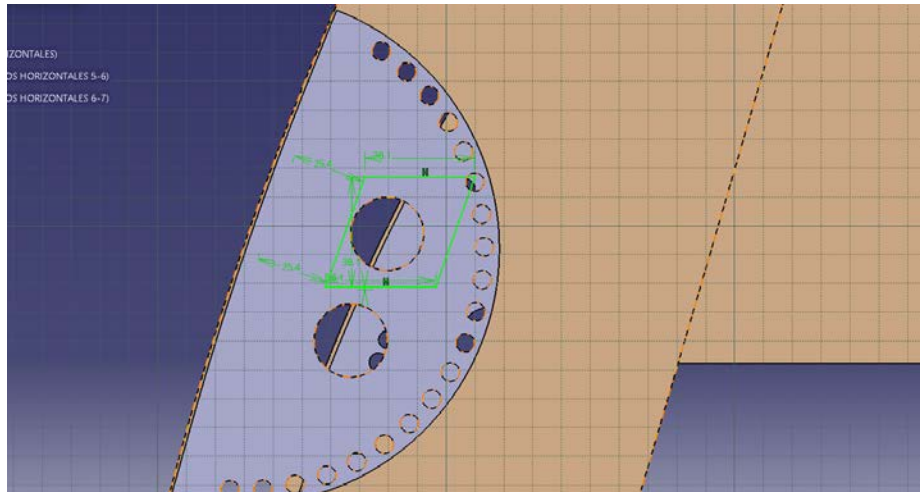


*Largueros horizontales 5-6 modelados*



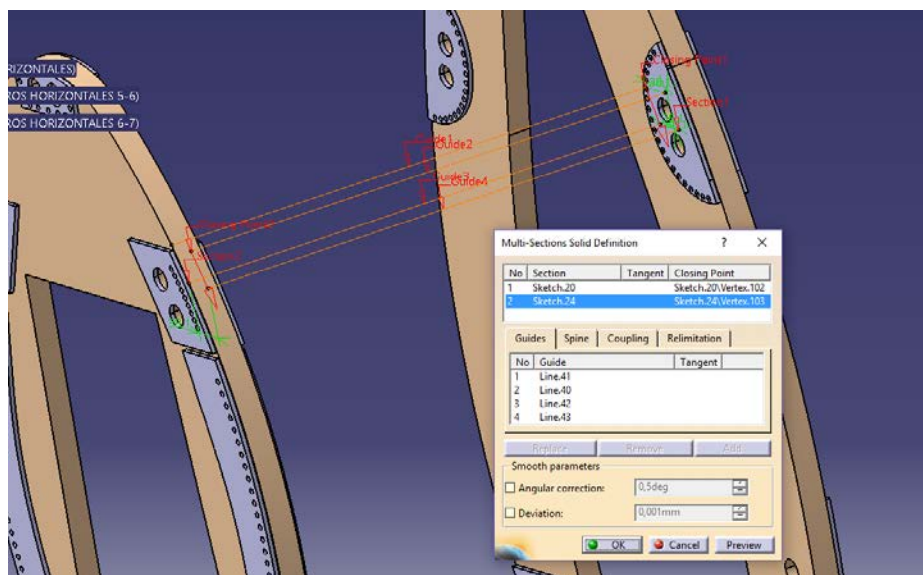
### 7.10.2 Largueros horizontales 6-7

Para el modelado de estos largueros seguiremos el mismo protocolo establecido para el modelado de los largueros 5-6. Partiendo de la vista isométrica de todo el fuselaje, donde podemos intuir el número y situación de los largueros, procedemos a dibujar los sketch de cada sección y en cada cara de las costillas.



*Sketch de una sección de un larguero*

Tras dibujar el segundo sketch en la cara opuesta de la otra costilla, procedemos



*Operación Multi-sections Solid*

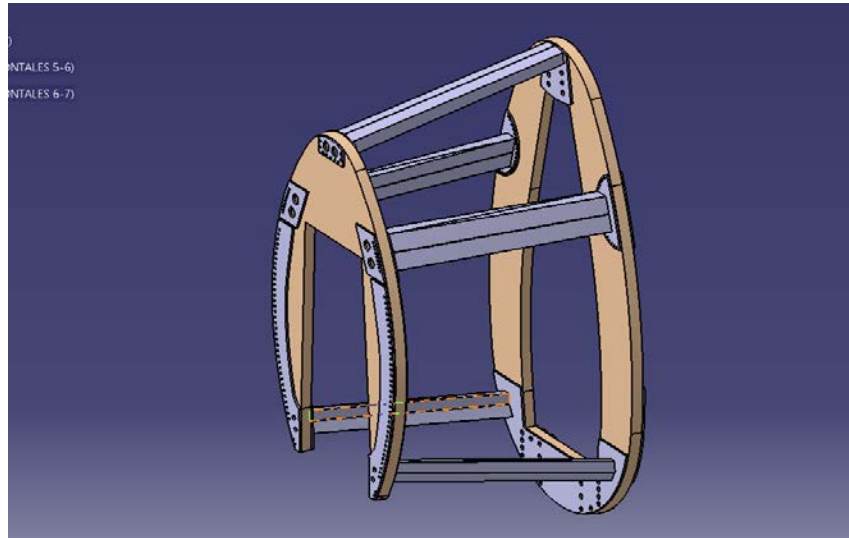
a crear las líneas que serán las aristas de nuestras vigas.

Después de realizar los distintos Multi-sections Solid a cada una de las vigas, ya tenemos modelado el bloque de largueros horizontales entre la costilla 6 y la costilla 7. Como observamos, este bloque tiene menos largueros que el anterior, ya que la parte inferior de la costilla 7 debe ser abierta para alojar el tren de

aterrizaje inferior.

Agruparemos los largueros en tres grupos de las siguientes dimensiones, en milímetros:

1. 4 largueros horizontales de 25,4 mm x 19,05 mm.
2. 4 largueros horizontales de 38,1 mm x 38,1 mm.
3. 2 largueros horizontales de 38,1 mm x 31,75 mm.



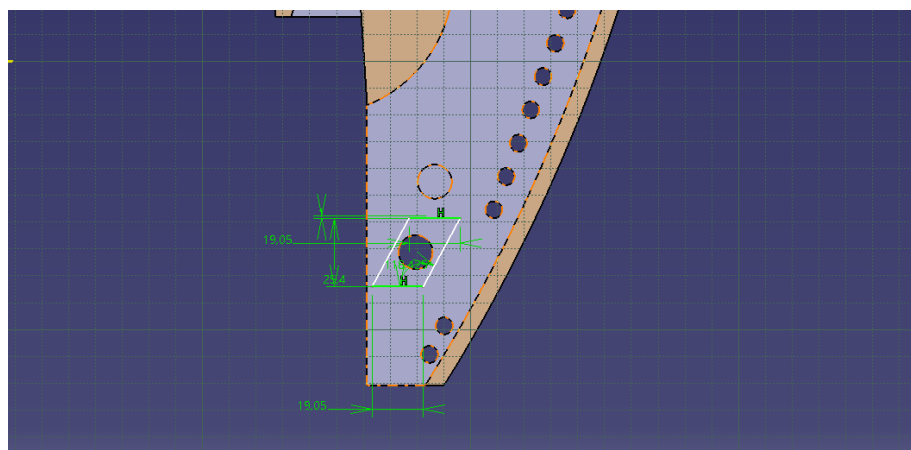
*Largueros horizontales 6-7 modelados*

### *7.10.3 Largueros horizontales 7-8*

En el modelado de los siguientes largueros horizontales volvemos a trazar un sketch de cada extremo del larguero en una costilla diferente, teniendo en cuenta los taladros que lleva y el lugar donde va colocado.cada uno.

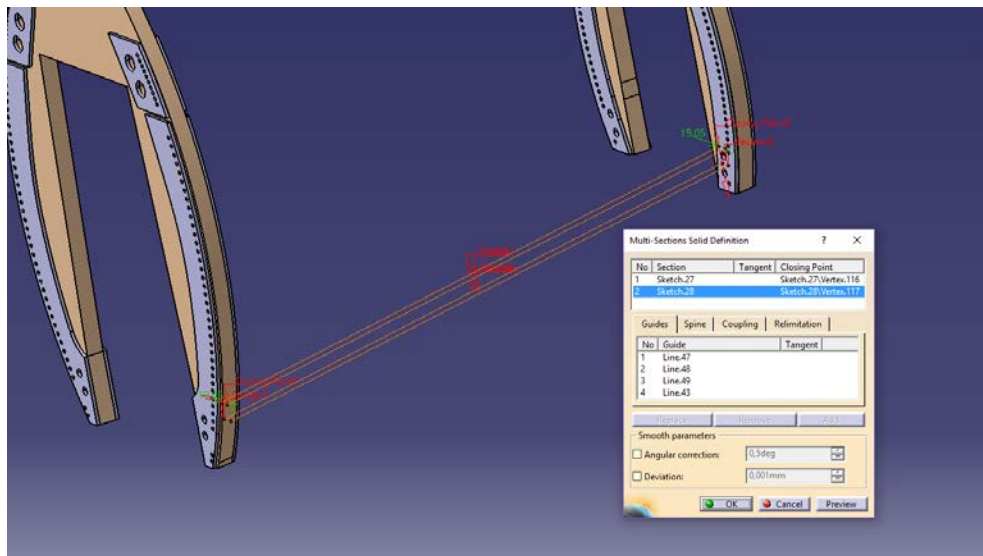
Como las costillas 7 y 8 deben estar abiertas por la parte inferior para alojar el tren de aterrizaje trasero, estas costillas estarán unidas por una cantidad menor de largueros horizontales.

Volvemos a repetir el mismo procedimiento, empezamos trazando el sketch.



*Sketch de un extremo del larguero*

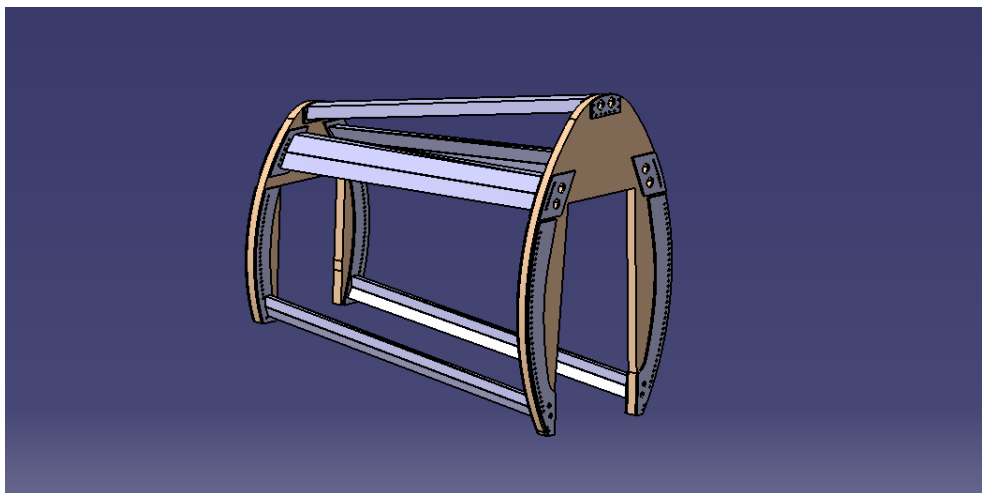
.Tras trazar el mismo sketch en la cara opuesta de la otra costilla volvemos a crear las líneas que serán las aristas del larguero.



*Operación de Multi-sections Solid*

Tras efectuar esta operación y repetir el mismo protocolo para cada una de las vigas de este bloque, podemos agruparlas en dos grupos de las siguientes dimensiones:

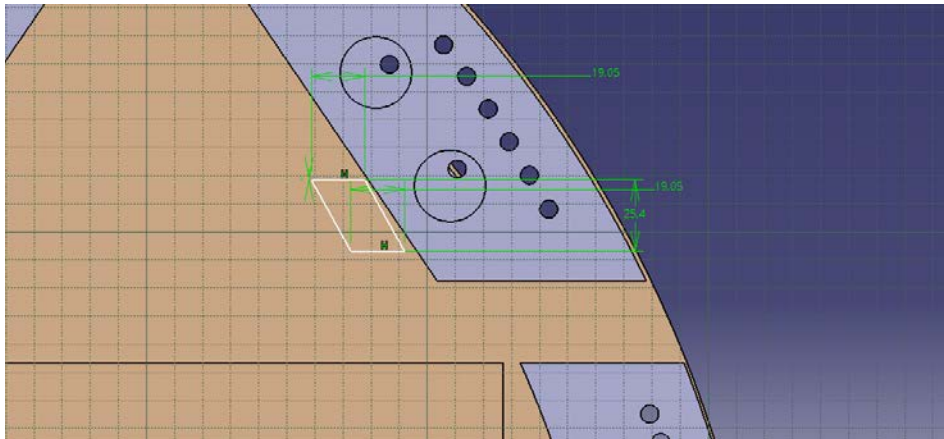
1. 6 largueros horizontales de 38,1 mm x 38,1 mm.
2. 4 largueros horizontales de 25,4 mm x 19,05 mm.



*Largueros horizontales 7-8 modelados*

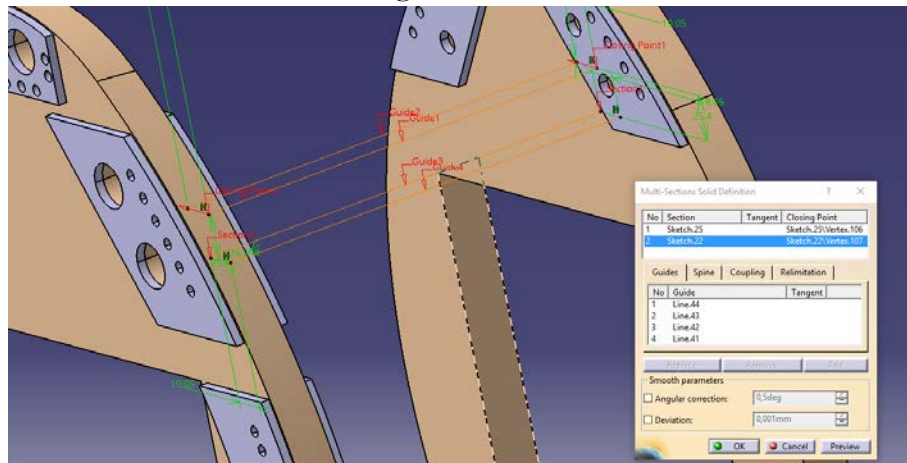
#### *7.10.4 Largueros horizontales 8-conjunto cono*

Para el modelado de los largueros horizontales de final de cola trazaremos los sketch en cada cara de las costillas, siendo estos de medidas normalizadas y adaptados a las dimensiones y situaciones de los taladros efectuados previamente en los refuerzos.



*Sketch de un extremo del larguero*

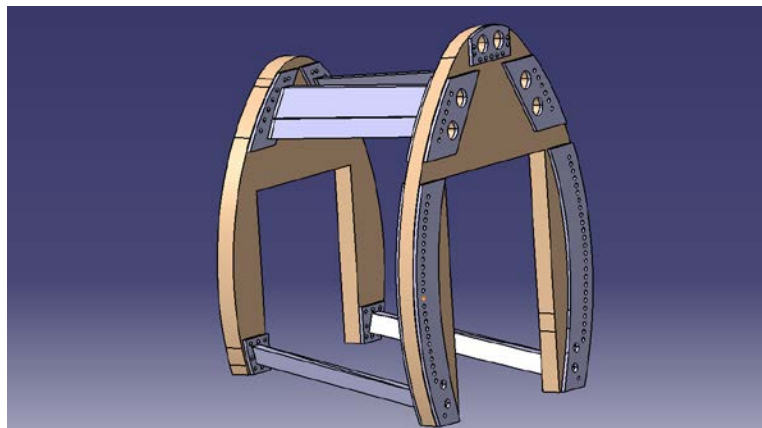
A continuación creamos las líneas que serán aristas del larguero, previa creación del sketch del otro extremo de la viga.



*Operación de Multi-sections Solid*

Tras efectuar esta operación y repetir el mismo procedimiento para cada una de las vigas de este bloque, podemos agruparlas en dos grupos de las siguientes dimensiones:

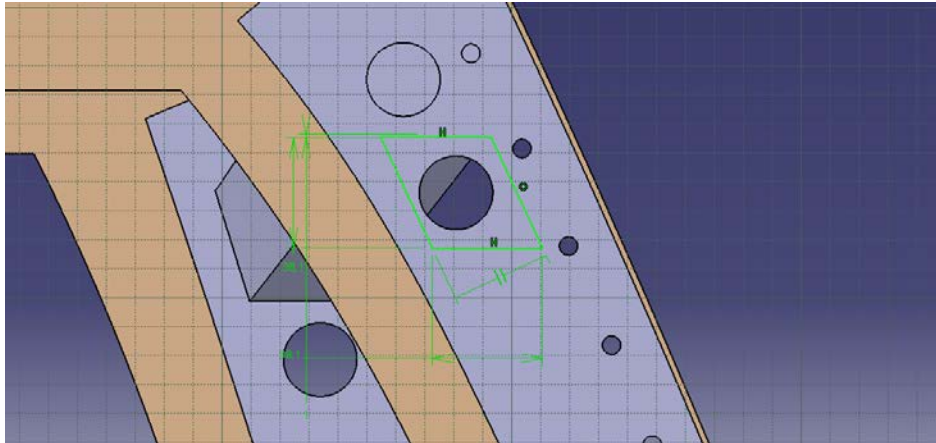
1. 4 largueros horizontales de 25,4 mm x 19,05 mm
2. 2 largueros horizontales de 38,1 mm x 19,05 mm.



*Largueros horizontales 8-conjunto cono modelados*

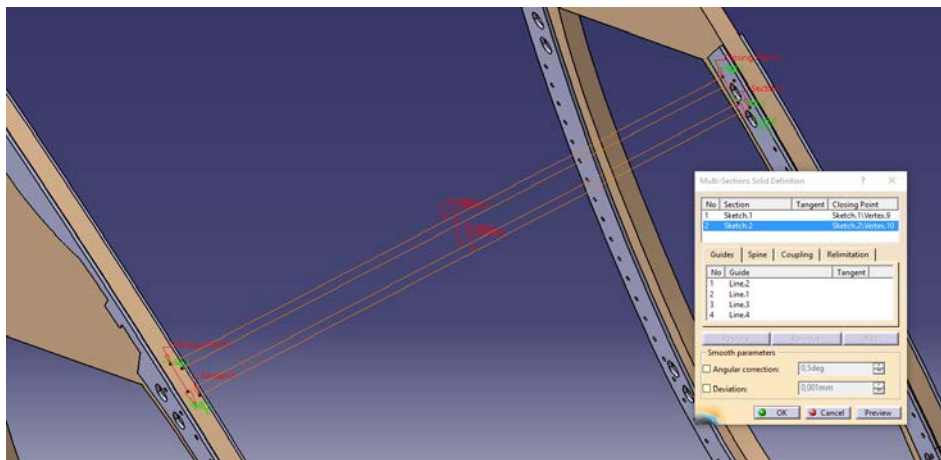
#### 7.10.5 Largueros horizontales 4-5

Como se ve en el diagrama del fuselaj, en este bloque no encontramos largueros en la parte inferior, pero ya sí existen en la parte superior ya que no es necesario que se encuentre abierta. Comenzamos modelando el sketch de cada larguero en las caras de las costillas, teniendo en cuenta donde se encuentran los taladros.



*Sketch de un extremo del larguero*

A continuación, trazamos las aristas del larguero tras haber ejecutado el el sketch del otro extremo.



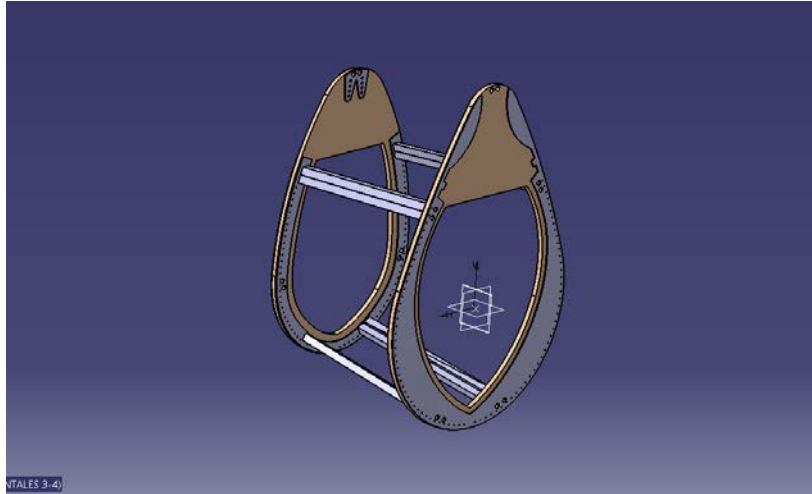
*Operación de Multi-sections Solid*

Finalmente, repetiremos este proceso en las otras tres vigas restantes para luego hacer la operación de simetría y así completar el bloque de largueros 5-6

En este bloque encontraremos solamente un grupo de largueros de las siguientes dimensiones:

1. 8 largueros horizontales de 38,1 mm x 38,1 mm.





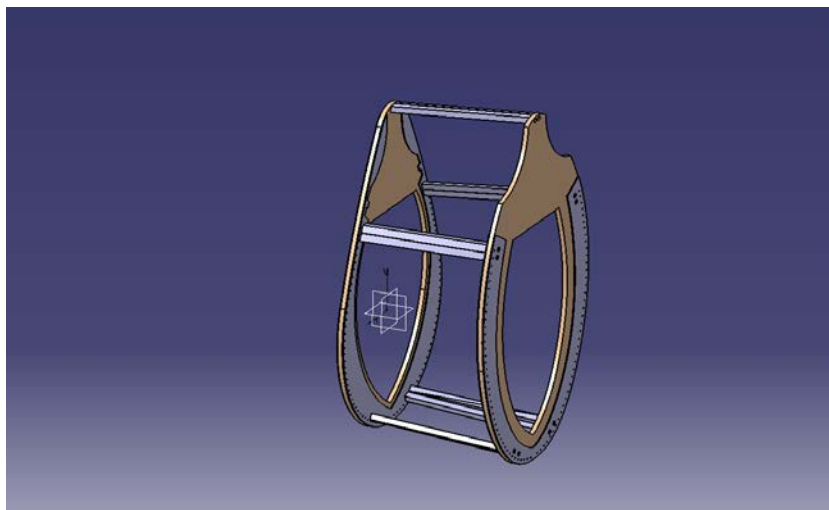
*Largueros horizontales 4-5 modelados*

#### 7.10.6 Largueros horizontales 3-4

El modelado de estos largueros es similar al anterior, únicamente presenta doso de largueros más en la parte superior, pero esta vez encontramos dos grupos de dimensiones diferentes:

1. 6 largueros horizontales de 38,1 mm x 38,1 mm.
2. 4 largueros horizontales de 38,1 mm x 31,75 mm.

Tras la creación de los sketches de los extremos de los largueros y su unión por medio de líneas para simular las aristas, procedemos a ejecutar la operación de Multi-sections Solid. Finalmente, hacemos un mirror que os copiará el conjunto de forma simétrica con respecto al plano XZ.



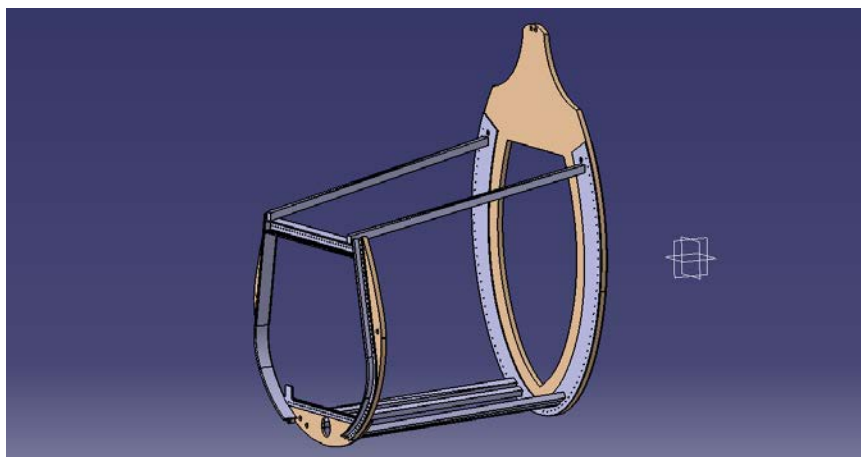
*Largueros horizontales 3-4 modelados*

### 7.10.7 Largueros horizontales 2-3

En el modelado de los largueros horizontales 2-3 continuamos con el mismo procedimiento. En este caso existen un menor número de largueros que unen ambas costillas.

Tras modelar cada larguero de la misma forma que los anteriores, podemos encontrar dos grupos de largueros con las siguientes dimensiones:

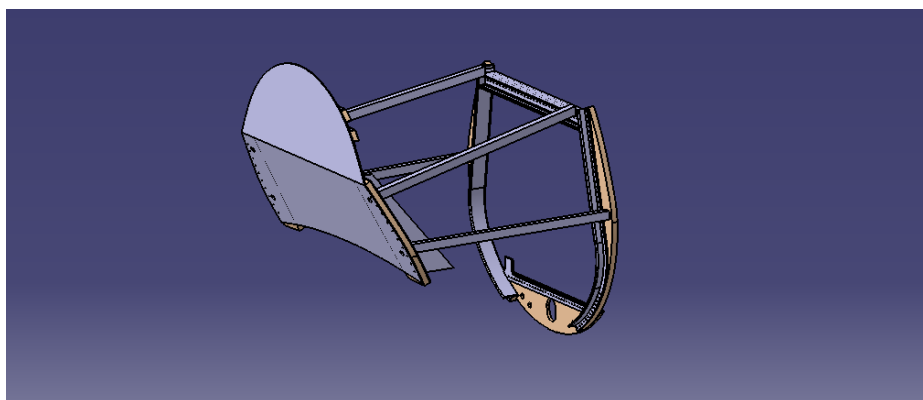
1. 2 largueros horizontales de 38,1 mm x 38,1 mm.
2. 4 largueros horizontales de 38,1 mm x 31,75 mm.



*Largueros horizontales 2-3 modelados*

### 7.10.8 Largueros horizontales 1-2

Para el modelado del último bloque de largueros horizontales no disponemos imágenes sobre el número ni situación de estos largueros. En cambio, si sabemos donde hay unos taladros de dimensiones características en cada costilla, lo que nos puede indicar el número y lugar de estos largueros horizontales. Como ya hemos modelado estos taladros en las costillas 1 y 2 procedemos a dibujar los respectivos sketchs de cada extremo de los largueros. En este caso encontraremos únicamente un grupo de 4 largueros horizontales de 38,1 mm x 31,75 mm.



*Largueros horizontales 1-2 modelados*



Finalmente, comprobamos que están todos los largueros modelados, resultando un número total de 68 largueros horizontales.

Es importante recalcar que la orientación de aquellos largueros rectangulares no está colocada al azar. Los aviones sufren en mayor medida flexión alrededor de su eje transversal, en nuestro caso el eje Y. Es por ello que el lado menor está colocado en la posición horizontal y el lado mayor en la posición vertical.

Se define la rigidez a flexión de una barra de la siguiente manera:

$EI = E \frac{1}{12} ab^3$ , donde E es el módulo de Young del material y a y b los lados de la sección rectangular de nuestro larguero.

sección transversal



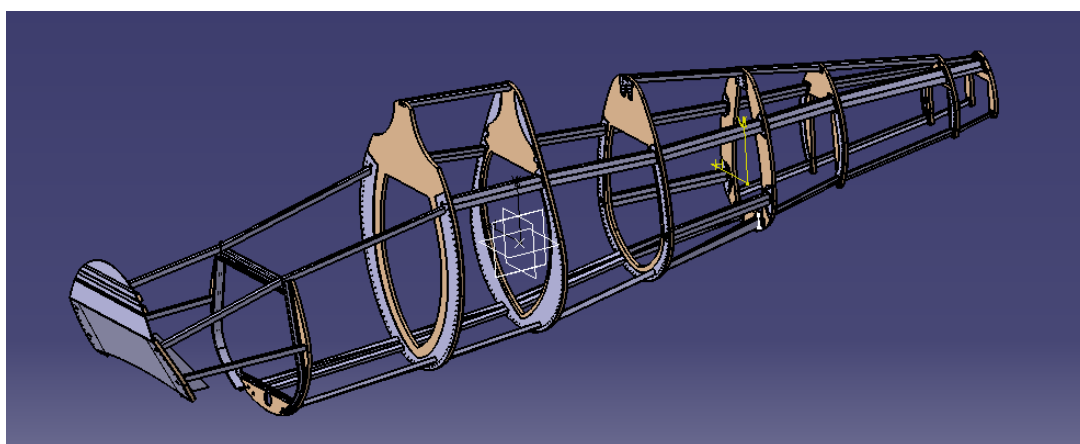
En este caso, si b (lado vertical) es mayor que a (lado horizontal) el momento de inercia I será mayor, y por tanto la rigidez a flexión será mayor. Esto provocará que ante un momento impuesto, el giro de la sección a lo largo de la viga sea menor, provocando menos deformaciones en el material

Sección transversal de un larguero y por tanto menos tensiones.

$$\frac{d\varphi}{ds} = \frac{M}{EI}$$

A continuación calculamos la inercia para los distintos tipos de secciones que hemos usado en los largueros horizontales. Suponemos que el material usado para estas vigas es acero, para un módulo de Young de 210 GPa.

Sección	a (mm)	b (mm)	EI (Nm <sup>2</sup> )	Nº Largueros
1	38,1	38,1	36875,5	32
2	31,75	31,75	17783,32	4
3	19,05	25,4	5463,03	12
4	19,05	38,1	18437,75	2
5	31,75	38,1	30729,58	14



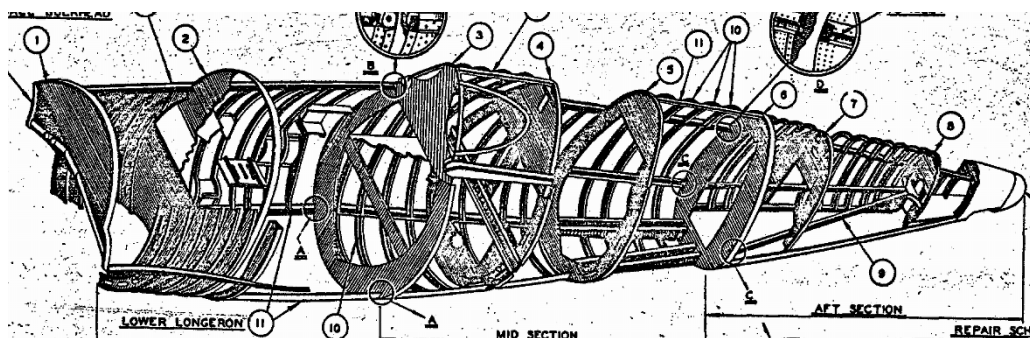
Ensamblaje de largueros horizontales y costillas

## 7.11 Largueros Verticales

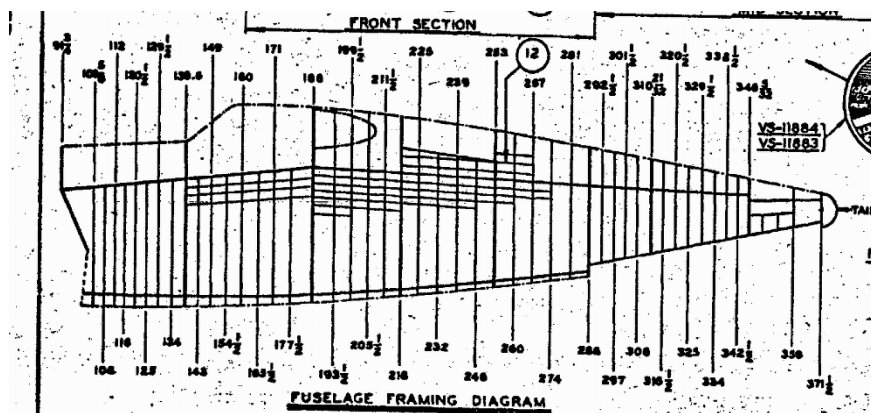
El fuselaje de un avión está sometido a diversos esfuerzos de diferente magnitud, pero que requieren una estructura diseñada para soportarlos. Como ya se ha modelado, disponemos de unas costillas que dividirán en ‘pisos’ nuestro fuselaje, unos largueros horizontales que trabajarán como vigas para soportar esfuerzos de flexión y tracción o compresión, y por último unos largueros verticales, cuyo diseño está pensado para soportar aquellos esfuerzos de torsión originados en la flexión de las alas y la cola.

La topología de estos largueros debe ser por tanto, circular, para que trabajen de la mejor forma a torsión y además congenien totalmente con la integridad del fuselaje. La forma de estas vigas reduce su espacio casi al contorno del fuselaje, lo que permite liberar mucho espacio en su interior para otras funciones.

Para esta parte del fuselaje, disponemos de información acerca del número y posición de cada larguero vertical, pero por el contrario no sabemos nada sobre sus sección. Es por eso que tendremos que adaptar las vigas al fuselaje para que estas no sobrepasen la futura cubierta. Aun así, intentaremos que estas dimensiones sean lo más normalizadas posibles, en pulgadas.

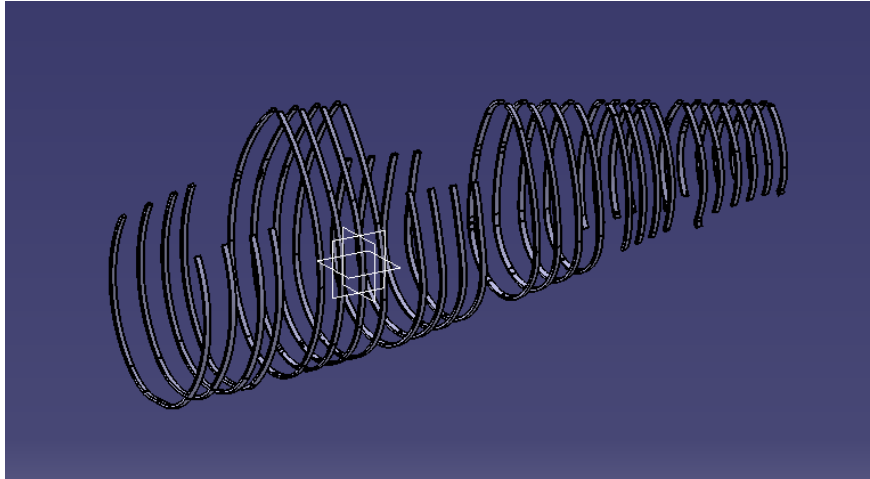


*Perspectiva del fuselaje completo*



*Localización de los largueros verticales*

A continuación, procederemos a modelar cada uno de las costillas verticales, estableciendo un protocolo de modelado para así automatizar el proceso cuanto sea posible.



*Largueros verticales modelados*

#### 7.11.1 Largueros verticales 4-5

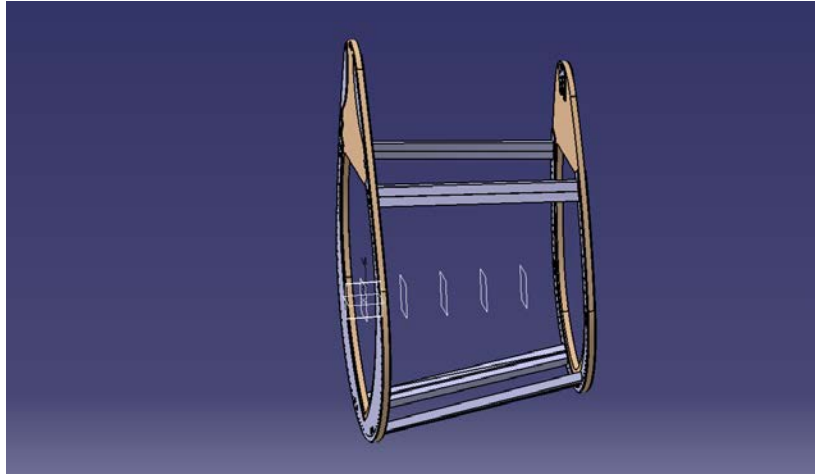
Comenzaremos modelando los largueros verticales 4-5, que usaremos por tanto de modelo para establecer un protocolo de modelado. Este protocolo se llevará a cabo en el resto de largueros verticales.

Este proceso puede dar lugar a iteraciones en el futuro. Esto es debido a que a continuación modelaremos la cubierta del fuselaje, lo que puede provocar interferencias con estos largueros. Si esto ocurriese, tendremos que volver al apartado de ese larguero y modificar su sección o guía.



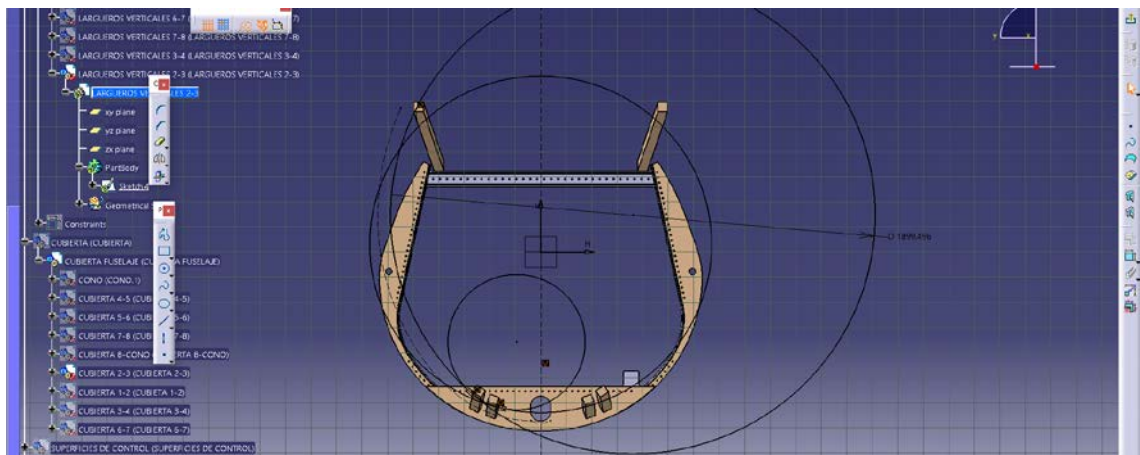
En primer lugar, colocaremos los planos paralelos a las costillas en los que trazaremos la guía que seguirá nuestra viga vertical. Para este dato, si disponemos de información detallada de donde se encuentra cada larguero.

En este caso nos fijaremos en el bloque situado entre las costillas 4 y 5. Como podemos observar, encontramos que entre estas dos costillas hay 4 largueros verticales. Dado que su situación está referenciada en cada uno de ellos, podemos saber las distancias relativas de cada plano a cualquiera de las dos costillas.



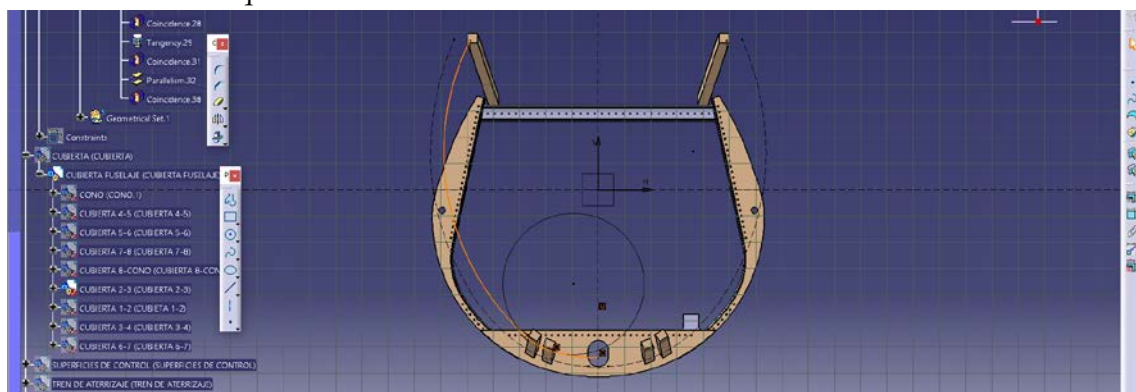
*Planos de trabajo de los largueros verticales 4-5*

A continuación, trazamos sobre un plano la guía que seguirá nuestro larguero. Para ello, tenemos que obtener la intersección de las vigas horizontales sobre el plano de trabajo. Después, haremos 3 circunferencias tangentes entre si, coincidiendo con los puntos de las intersecciones para asegurarnos que el larguero no intercecta con los largueros horizontales.



*Sketch de la guía del primer larguero vertical*

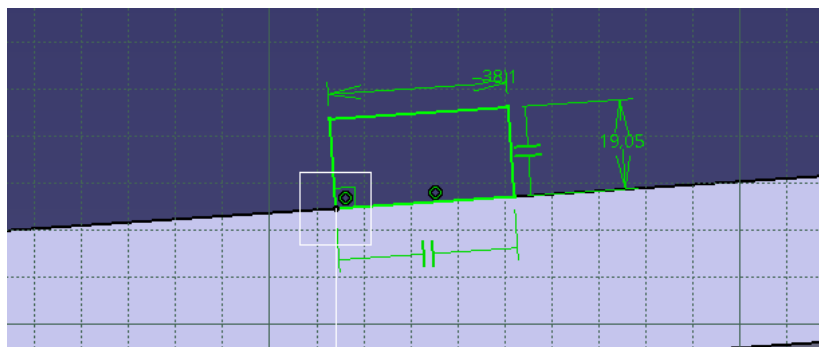
Por último, usaremos la herramienta trim para eliminar las partes de las circunferencias que no nos serán útiles.



*Guía para el larguero vertical*

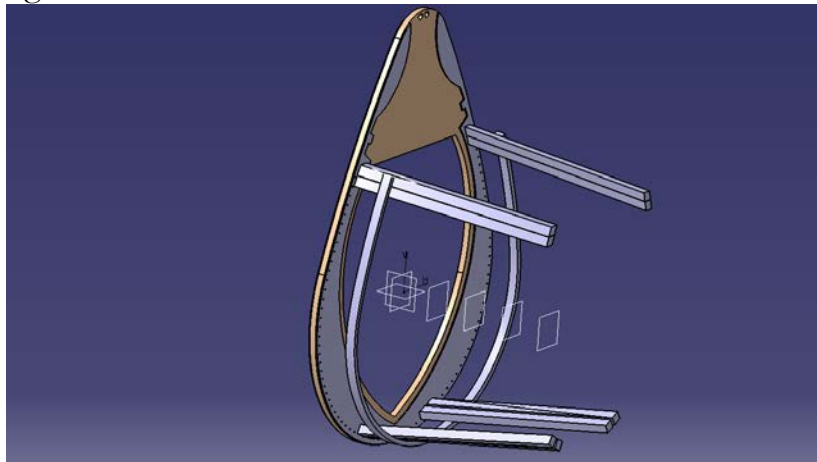
Será muy importante que la circunferencia inferior esté coincidente con el eje vertical del sketch, es decir, se encuentre justo en la mitad de la costilla. Esto será para asegurarnos que la tangente a esta circunferencia en la parte inferior sea horizontal y podamos hacer mirror del part sin que quede partido el larguero.

Una vez tengamos la guía acabada, creamos un plano perpendicular a dicha guía en un extremo, de forma que la sección recorra esta línea perpendicularmente. Como no disponemos de información sobre dicha sección, suponemos unas dimensiones acordes con los largueros horizontales. Estas dimensiones serán por tanto normalizadas en pulgadas, siendo de  $3/4'' \times 1\ 1/2''$  (19,05 mm x 38,1 mm).



*Sección del larguero vertical*

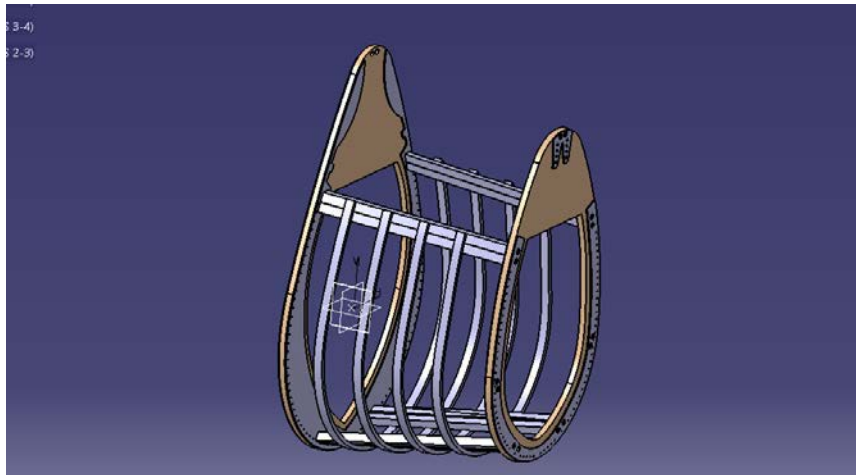
Por último, solo tenemos que efectuar la operación de rib seleccionando la sección y la guía creadas anteriormente.



*Primer larguero vertical 4-5*

Una vez creada la primera viga vertical, repetimos el mismo procedimiento para las otras 3 piezas restantes.

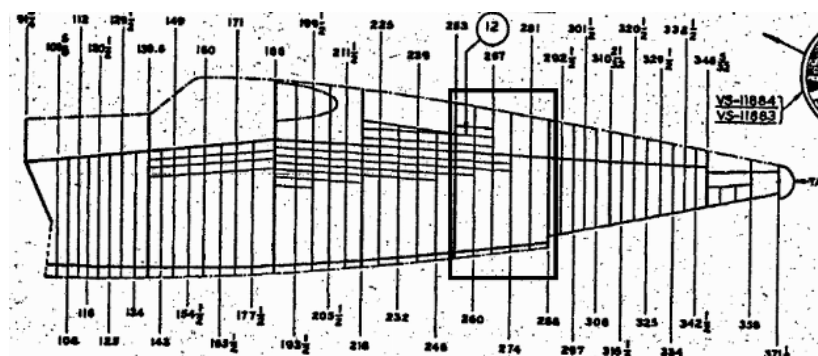




Largueros verticales 4-5 modelados

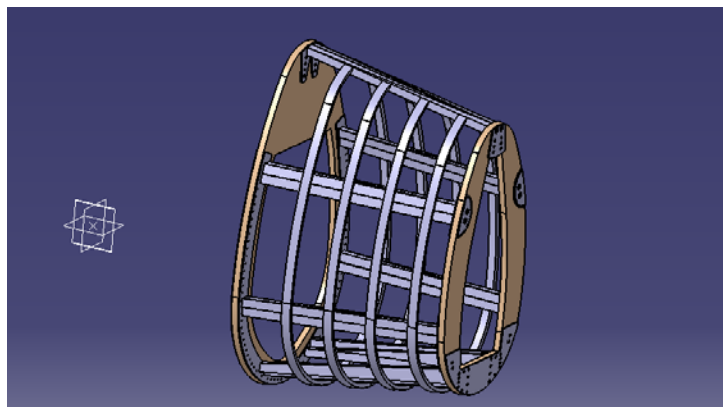
### 7.11.2 Largueros verticales 5-6

Para el modelado de los largueros situados entre las costillas 5 y 6 continuaremos con el mismo procedimiento seguido hasta ahora. Primero colocaremos los planos donde trazaremos cada una de las guías que luego usaremos en la operación de Rib. Usaremos como sección una de 19,05mm x 38,1 mm.



Plano de situación de los largueros verticales

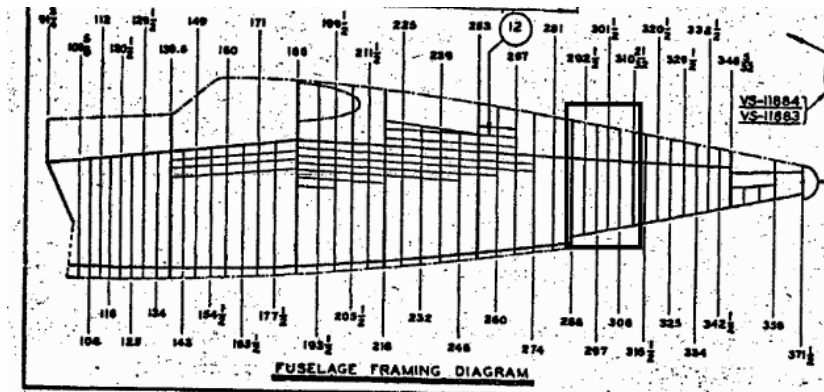
En este caso, los largueros verticales son completamente cerrados, no como los situados entre las costillas 4 y 5 que eran abiertos. Repetiremos por tanto este procedimiento 4 veces, obteniendo los largueros verticales 5-6.



Largueros verticales 5-6 modelados

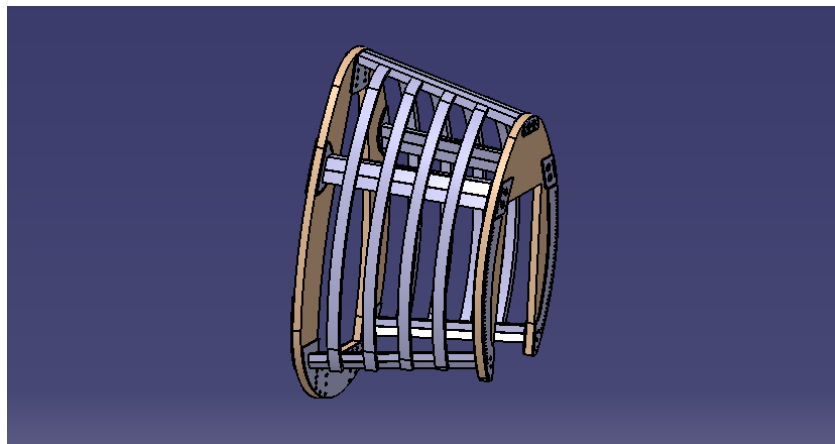
### 7.11.3 Largueros verticales 6-7

Los largueros verticales 6-7 se modelan de una forma similar a los anteriores, pero con la peculiaridad de que esta zona es la que debe alojar el tren de aterrizaje trasero. Esto determina que la parte inferior de dichos largueros deberá ser abierta.



Plano de situación de los largueros verticales

Teniendo en cuenta que la guía de los largueros debe ser compatible con la abertura inferior, se modelan de nuevo los 4 largueros verticales que se encuentran entre las costillas 6 y 7.



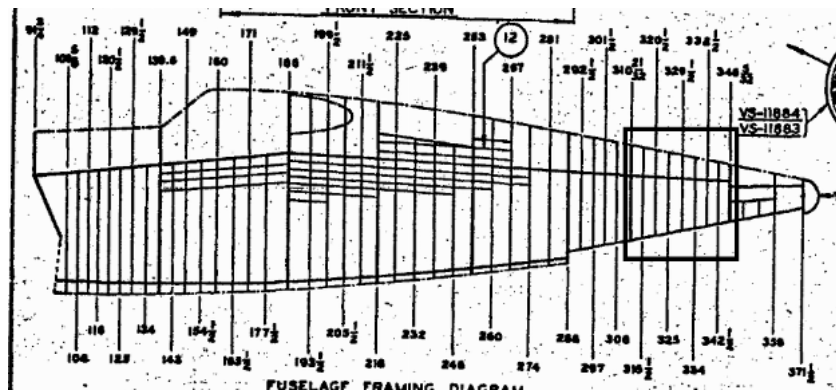
Largueros verticales 6-7 modelados

### 7.11.4 Largueros verticales 7-8

Los largueros verticales situados entre las costillas 7 y 8 siguen el mismo procedimiento y forma que los largueros anteriores. La peculiaridad de estos largueros es que deberán soportar las cogidas o bisagras de las compuertas del tren de aterrizaje trasero.

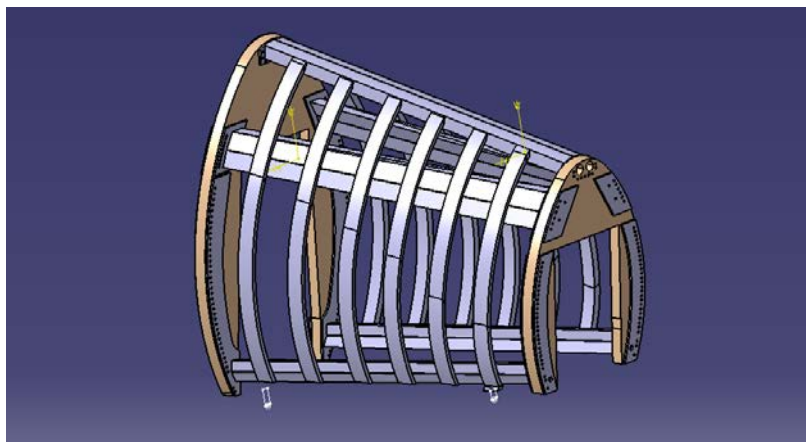
Primero modelamos los largueros verticales ubicando en primer lugar los planos de cada larguero vertical.





Plano de situación de los largueros verticales

Posteriormente modelamos los 6 largueros que esta vez se sitúan entre las costillas 7 y 8.

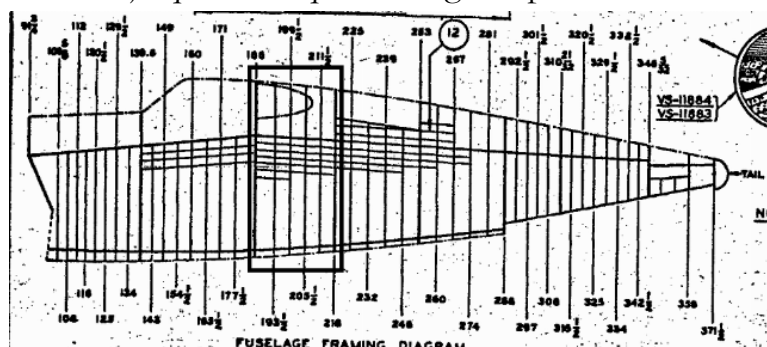


Largueros verticales 7-8 modelados

El modelado de las bisagras sobre los largueros de este conjunto se llevará a cabo más adelante, cuando se lleve a cabo el modelado de las compuertas del tren de aterrizaje. De esta forma podremos comprobar que la situación del eje de giro impuesto por las bisagras es compatible con el movimiento de apertura de dichas compuertas.

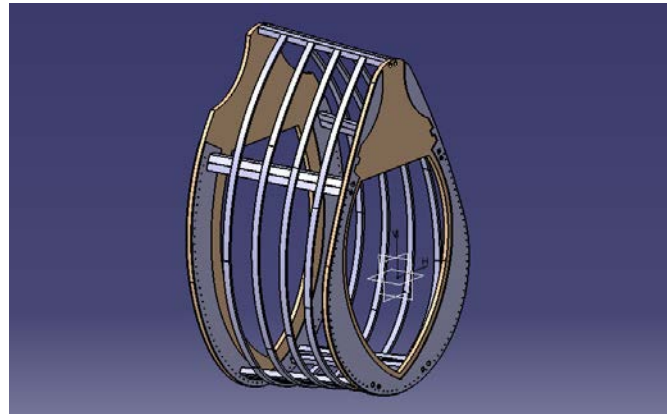
#### 7.11.5 Largueros verticales 3-4

Los largueros verticales 3-4 vuelven a ser largueros cerrados, ya que pertenecen a una parte del fuselaje que no requiere ningún tipo de apertura.



Plano de situación de los largueros verticales

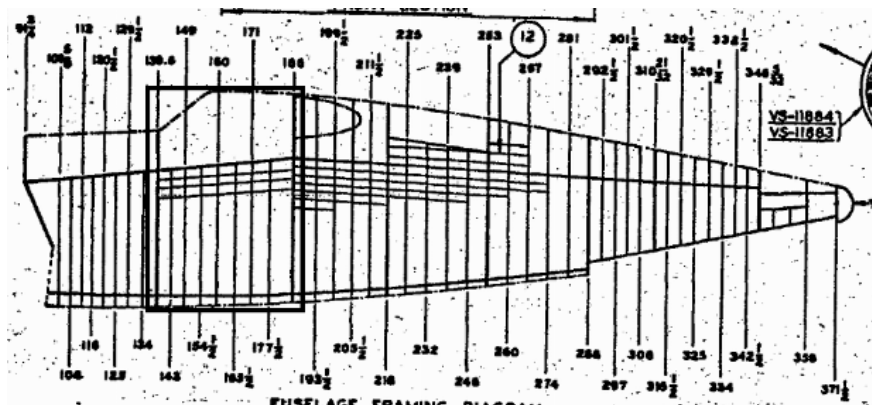
Modelamos igualmente estos largueros verticales, que en esta ocasión vuelven a ser 4 largueros verticales.



*Largueros verticales 3-4 modelados*

#### 7.11.6 Largueros verticales 2-3

Para el último conjunto de largueros verticales llevaremos a cabo el protocolo seguido hasta ahora. Este conjunto de largueros situado entre las costillas 2 y 3 se encuentran abiertos en la parte superior, ya que deben dejar espacio para alojar la cabina del piloto.



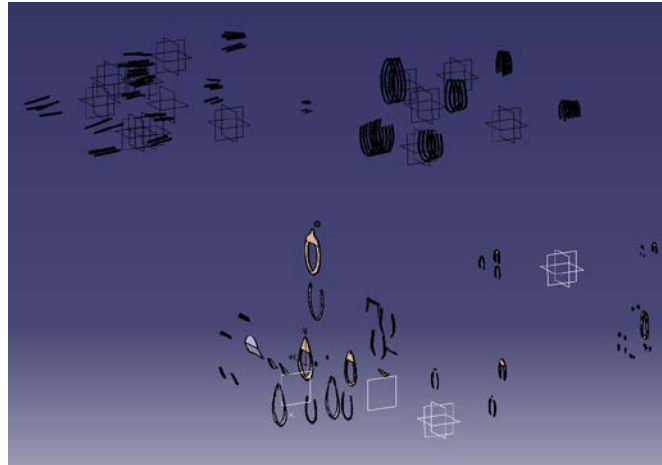
*Plano de situación de los largueros verticales*

En este caso modelaremos un total de 7 largueros verticales. Serán necesarios un número mayor que en los anteriores apartados porque la principal componente de torsión está provocada en esta zona, donde van ensamblados las alas.



*Largueros verticales 2-3 modelados*

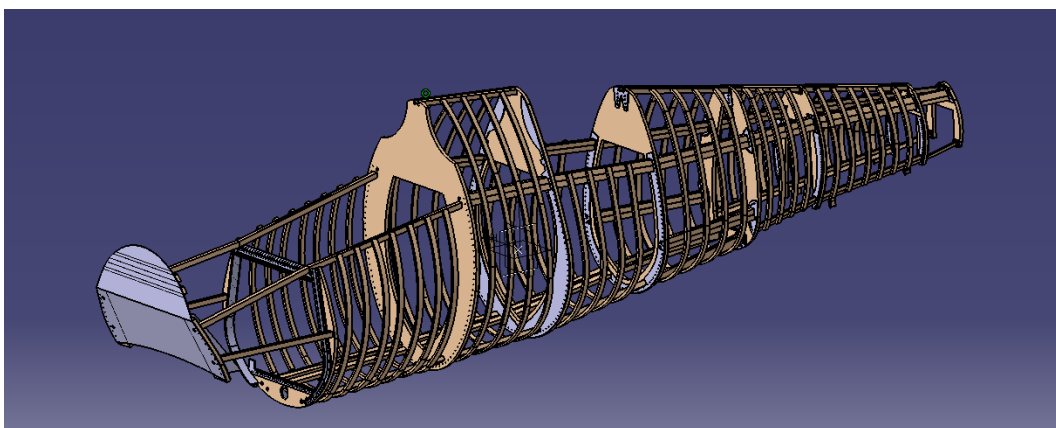
Con esta última operación de modelado, podemos dar por concluido el diseño del fuselaje. En total, hemos modelado 8 costillas, cada una con sus refuerzos y piezas auxiliares, largueros horizontales que conectan entre sí cada una de estas costillas y por último los largueros verticales, que serán indispensables para que la estructura soporte los grandes esfuerzos de torsión que sufrirá en vuelo el avión.



*Explosionado del fuselaje completo*

Con el explosionado anterior podemos hacernos una idea de la cantidad de piezas que hemos modelado hasta ahora, y por supuesto asumimos que quedarán muchas otras que se nos han pasado por alto y de las cuales no disponemos información sobre sus dimensiones ni si quiera de su existencia.

Finalmente, aquí tenemos nuestro fuselaje terminado.



*Fuselaje modelado*

## 8. CUBIERTA DEL FUSELAJE

La cubierta del fuselaje es la piel que recubre dicha parte del Vought. Esta piel suele tener desde décimas hasta unos 3 milímetros y su función es tanto proteger y aislar el interior del avión como actuar sobre su aerodinámica. Análogamente, encontramos esta misma parte del avión adaptada a otras ingenierías, como puede ser una fachada para un edificio o una carrocería para un vehículo.



*Fachada de una casa*

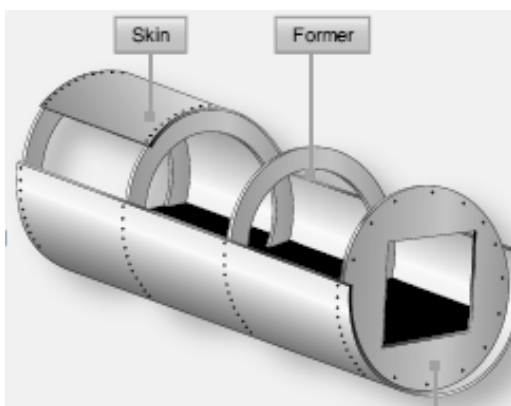


*Carrocería de un monoplaza*

La función en estos casos es distinta a la que se busca en una cubierta de un avión. En una fachada, su función principal es tanto estética como aislante. En un vehículo, su carrocería nos aísla del entorno y según la aplicación de dicho vehículo, su carrocería tendrá una menor o mayor aportación aerodinámica.

Este tipo de construcción empezó a emplearse en aviones con el afán de mejorar las formas de estas aeronaves, confeccionándole una menor resistencia aerodinámica, lo que significaría un aumento de la velocidad y el rendimiento, factores claves en la época bélica en la que nos encontramos donde estos avances suponen estar por encima del enemigo. Este tipo de estructuras permitía trabajar planchas delgadas, lo que supone el aumento de superficies de apoyo para evitar su pandeo. Por ello, hemos podido comprobar el gran número de costillas y cuadernas que presenta nuestra aeronave.

Hasta aquí se ha innovado en gran medida, donde este tipo de combinación entre fuselaje y cubierta ha evolucionado al monocasco, una estructura sólida



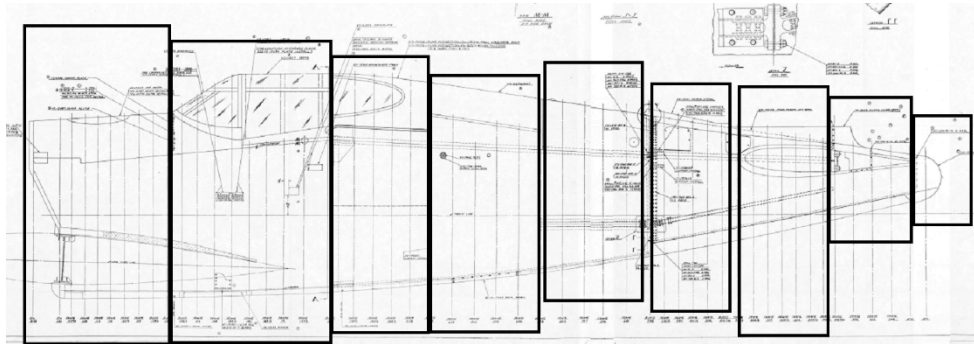
*Diagrama de un monocasco*

fabricada de material compuesto que nos permite desechar todas las cuadernas que se usaban para soportar el anterior semimonocasco.

Para el caso que nos ocupa, se decide dividir el modelado de la cubierta en varias partes, siguiendo el mismo patrón creado para el modelado de los largueros.

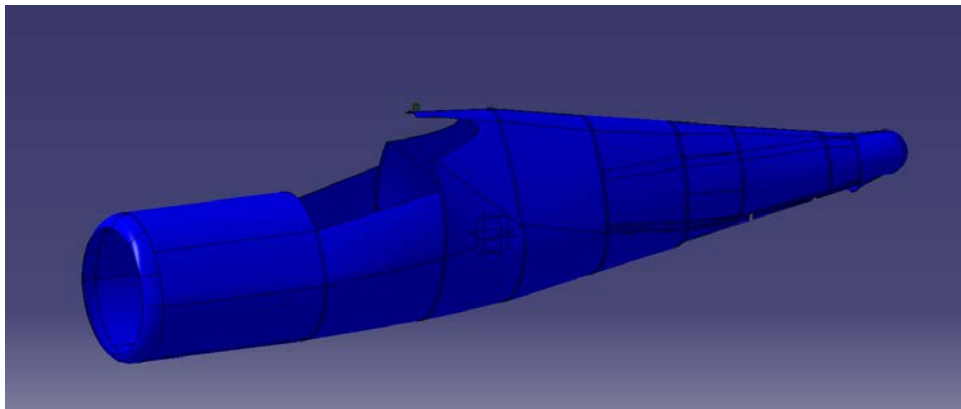
Dividiremos las cubiertas según se encuentren entre cada par de costillas. La cubierta de las superficies de control, las compuertas de los trenes de aterrizaje y el carenado del motor se modelarán más adelante dentro su sección principal.

En los planos que disponemos solo hemos encontrado una imagen donde se puede ver la división de cada cubierta. Esta división invita a suponer que cada parte se pliega por separado y se ensambla con su bloque costilla-largueros para luego unirlos entre sí.



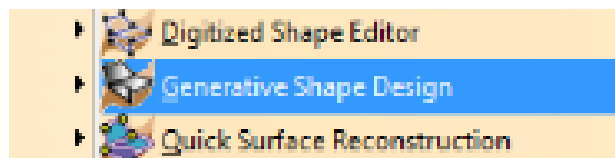
*Cubiertas a modelar*

En total, tendremos que modelar 9 cubiertas que estarán situadas entre las costillas 1 y cono, separadas entre sí de par en par de costillas.



*Cubierta del fuselaje modelada*

Para el modelado de esta cubierta tuvimos que introducirnos en un nuevo módulo del software Catia, el módulo de superficies o ‘Generative Shape Design’, donde podremos crear cualquier superficie con cualquier forma como veremos a continuación.

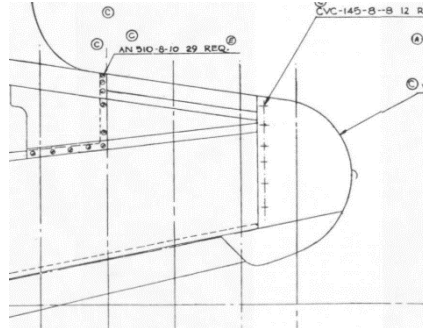


*Módulo usado para la cubierta*



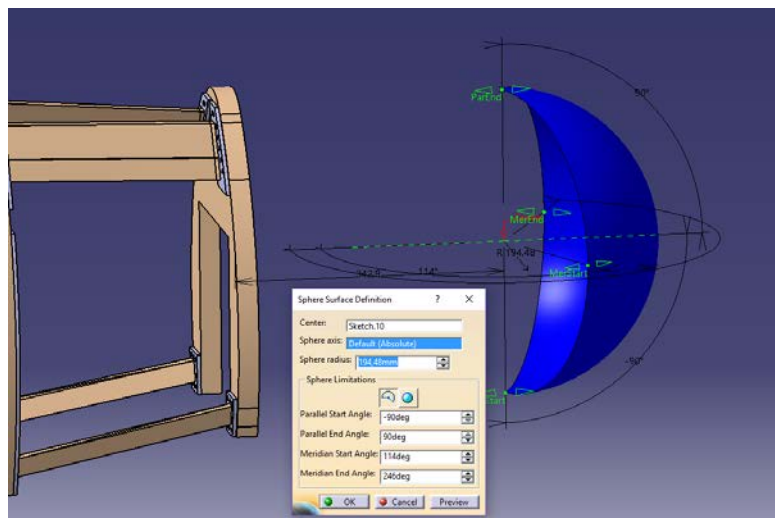
## 8.1 Cono

Para el modelado del cono trasero disponemos de un plano donde podemos obtener el radio de la esfera que cierra nuestra cubierta. Este radio será de 194,48 mm.



Cono trasero

Con esta imagen, procedemos a colocar el punto que será el centro de nuestra esfera final. A continuación, con el centro, el radio y una estimación de la amplitud, modelamos la esfera con la herramienta Sphere. Como la esfera no es completa, imponemos unos límites de 114° y 246° por ambos lados respectivamente.



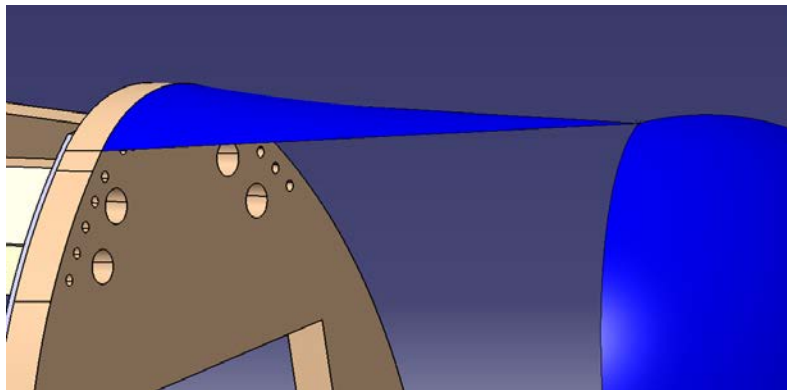
Modelado de la esfera trasera

A continuación, comenzamos a unir con líneas puntos conocidos de la esfera con los puntos enfrentados que pertenezcan al marco del conjunto cono. Tendremos que formar como mínimo un triángulo para poder usar la herramienta Fill y así rellenar dicho espacio.



Líneas que unen esfera y marco

Ahora solo tenemos que seleccionar la herramienta Fill y los 3 contornos de nuestra nueva superficie, las dos líneas creadas y la correspondiente curva perteneciente al marco.



*Superficie superior del cono trasero*

Después, tendremos que modelar el resto de superficies laterales, pero esta vez usaremos otra herramienta análoga a una ya usada en el modelado del fuselaje, Multi-sections Surface. Para esta herramienta necesitamos dos líneas o contornos que serán los que tomen al inicio y final nuestra nueva curva, y mínimo dos líneas o guías que conduzcan los contornos de un lado a otro. Esta herramienta suele dar muchos problemas, sobre todo cuando la curva no está totalmente definida por las guías, lo cual se soluciona definiendo más guías que unan dichos contornos. También es muy común que usemos líneas que no intersectan al contorno, lo que nos dará otro error.

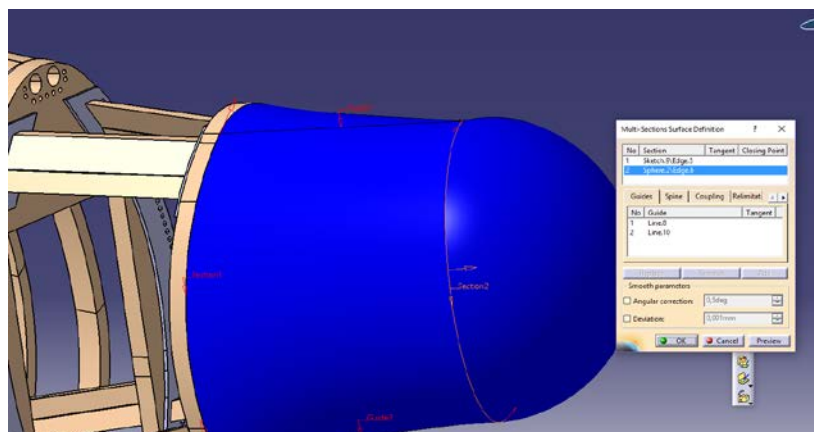


*Multi-sections Surface*



*Fill*

Ahora solo tenemos que seleccionar los dos contornos en la parte de Sections y las guías en la parte de Guide.



*Superficie lateral modelada*

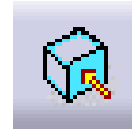


Luego, solo tenemos que repetir el mismo procedimiento seguido para Fill y Multi-sections Surface completando las otras 3 superficies restantes y dando un espesor estimado de 2 mm con la herramienta ThickSurface.

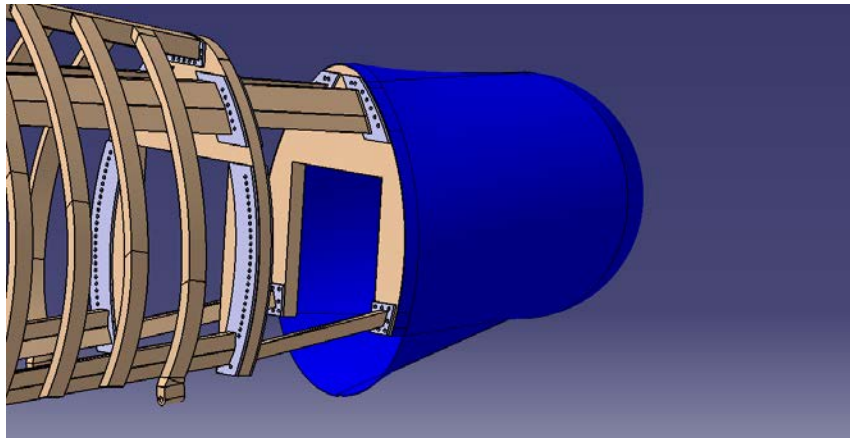


ThickSurface

Por último, extraemos las superficies del contorno del marco de forma que al darle espesor simulamos la existencia de una cubierta que recubre esta parte externa del fuselaje.



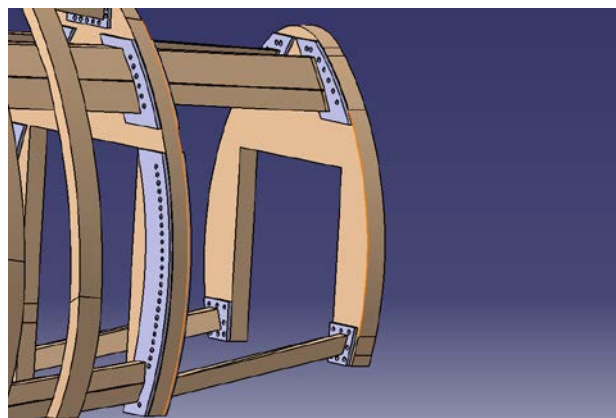
Extract



Cubierta cono modelada

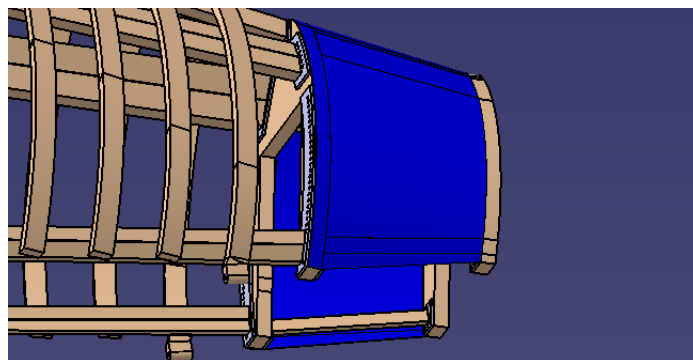
## 8.2 Cubierta 8-cono

Las cubiertas que vienen a continuación se modelarán íntegramente con la herramienta Multi-sections Surface. Para ello, tomaremos como secciones los contornos de los dos marcos entre los que se encuentre dicha cubierta y crearemos las líneas que nos servirán de guías. Para las líneas, usaremos los puntos de cambios de circunferencia que nos permite seleccionar el software automáticamente.



Secciones seleccionadas

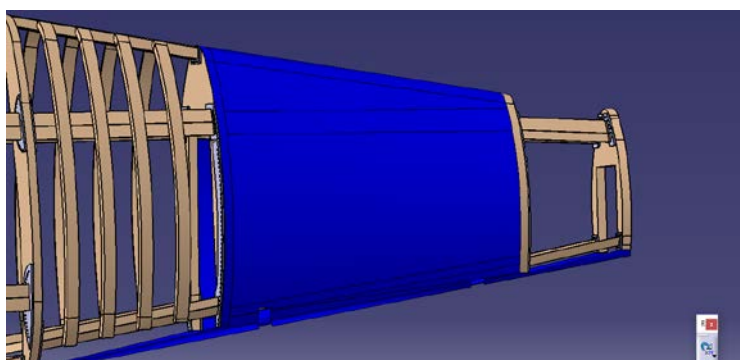
Es importante comentar que en esta zona, la cubierta es abierta, ya que debe dejar espacio para la entrada y repliegue del tren de aterrizaje trasero. Este hueco será tapado en un futuro con unas compuertas abatibles.



*Cubierta 8-cono modelada*

### *8.3 Cubierta 7-8*

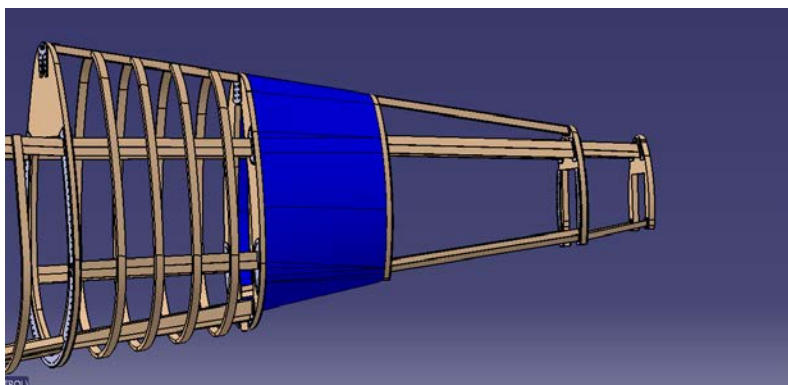
Para la próxima cubierta continuamos el mismo protocolo, teniendo en cuenta el espacio inferior que dejaremos abierto. Tras seleccionar los contornos de los marcos 7 y 8 y crear las líneas de unión procedemos a ejecutar el comando Multi-sections Surface.



*Cubierta 7-8 modelada*

### *8.4 Cubierta 6-7*

La cubierta situada entre las costillas 6 y 7 es semejante a la anterior, siendo esta la última cubierta que se encuentre abierta en su parte inferior. A partir de aquí, sólo la penúltima cubierta volverá a estar abierta, pero esta vez por su parte superior.

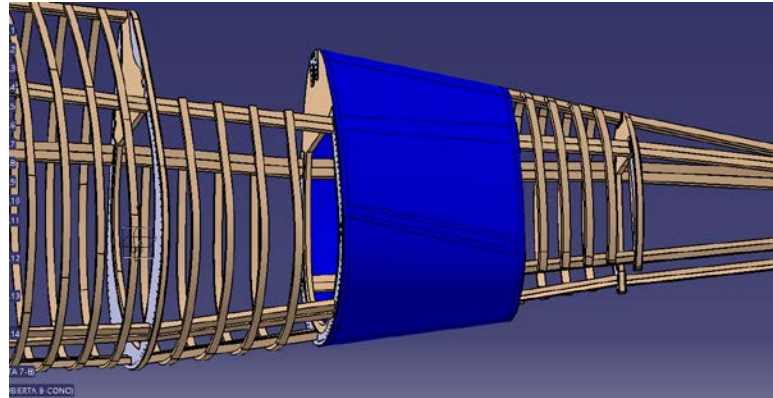


*Cubierta 6-7 modelada*

### 8.5 Cubierta 5-6

Esta cubierta fue problemática desde un principio, ya que no nos permitía hacer una cubierta con una sola operación. La ventaja que tiene Catia es que te da la posibilidad de hacer el mismo sólido o superficie de varias maneras, aunque sea aplicando un mayor número de operaciones.

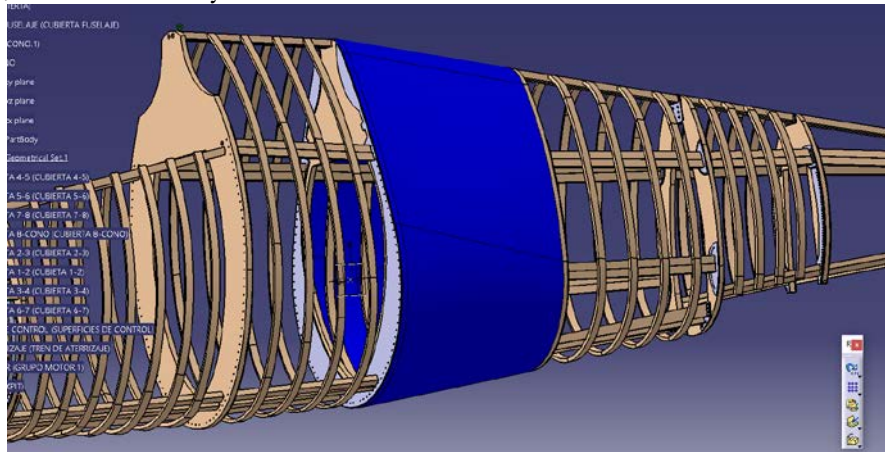
En este caso tuvimos que separar su modelado en 3 cubiertas independientes: una cubierta inferior, otras laterales y una superior.



Cubierta 5-6 modelada

### 8.6 Cubierta 4-5

Para la sexta cubierta usaremos el mismo protocolo de división de superficies. Volveremos a seleccionar tres contornos aproximadamente iguales en uno y otro marco de forma que podamos hacer cuatro Multi-sections Surface, uno superior, otro inferior y dos laterales.

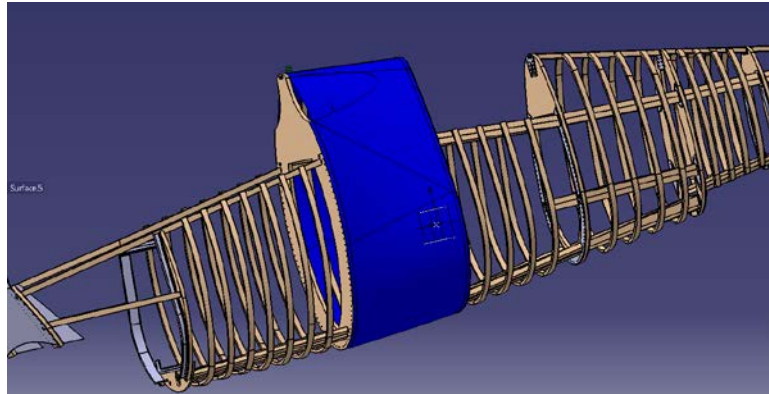


Cubierta 4-5 modelada

No debemos olvidar darle superficie de 2 mm tanto a la cubierta como a las superficies que extraigamos del contorno exterior de los marcos 4 y 5.

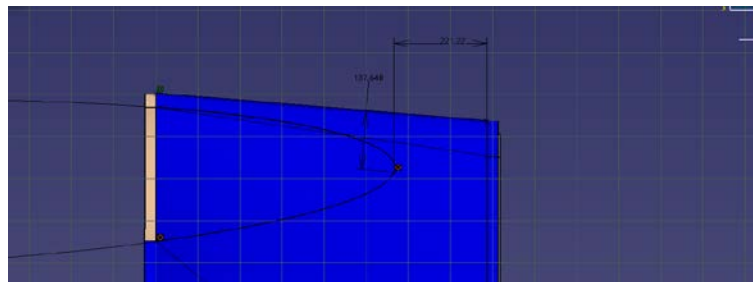
### 8.7 Cubierta 3-4

En esta sección usaremos una herramienta nueva para modelar el espacio requerido para la instalación de la parte posterior de la ventana. Primero modelamos la cubierta de la misma forma que el resto de cubiertas. Solo debemos tener en cuenta que hay que completar el contorno en la parte donde existe el vaciado de la costilla 3.



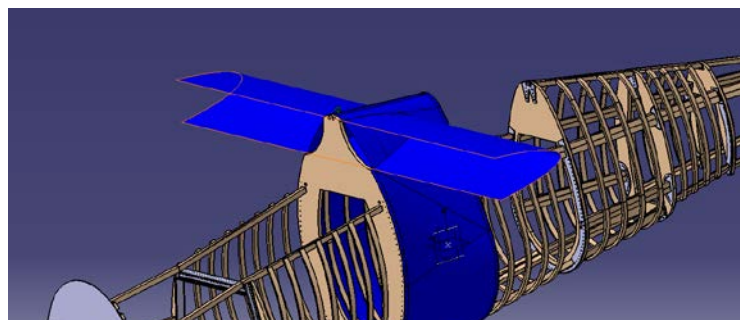
*Parte principal de la cubierta 3-4 modelada*

A continuación realizaremos un Split, operación con la que crearemos el espacio necesario para alojar la ventana. Primero creamos una superficie con la sección del contorno a quitar. La sección tendrá forma elíptica, así que usaremos la opción Ellipse de Catia. Las medidas de dicha elipse las tomaremos de cualquier plano en el que aparezca dicha forma y podamos conocer su factor de escala.



*Sketch de la elipse*

Esta superficie la crearemos con la herramienta Sweep, seleccionando el

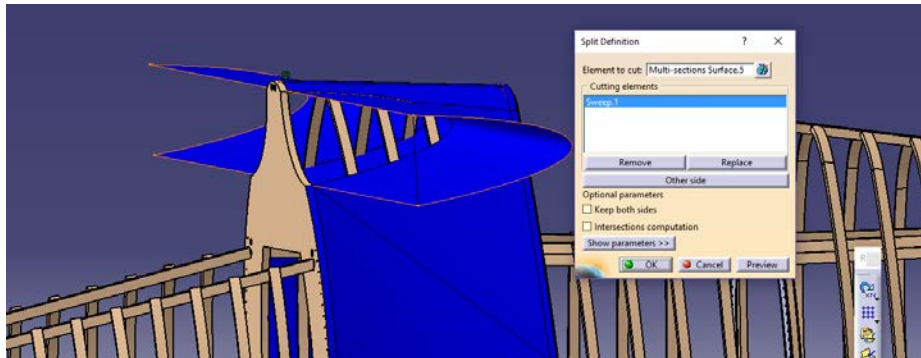


*Superficie de intersección*

contorno y la línea que marcará la extensión de dicha superficie.

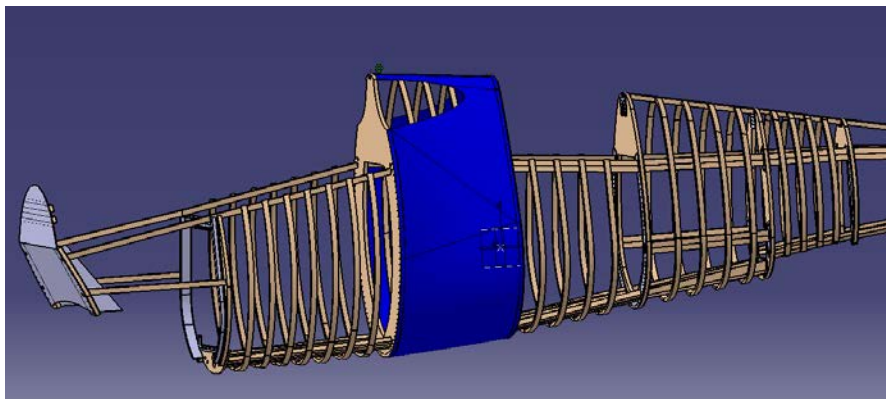


Por último, pulsaremos la herramienta Split, seleccionando a superficie a cortar la cubierta modelada al principio y como superficie cortante la que acabamos de crear.



*Operación de split*

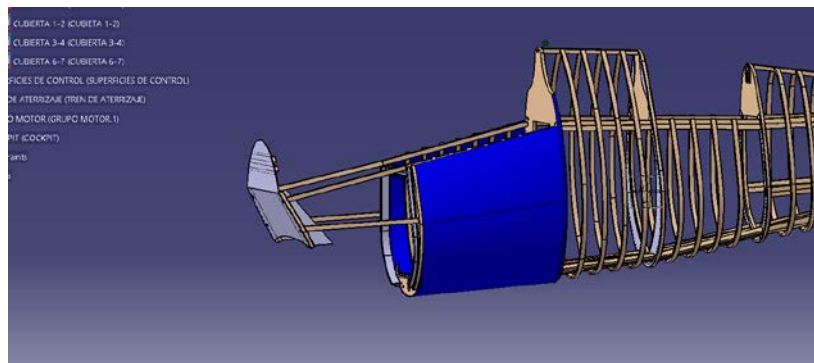
Finalmente, retiramos la superficie auxiliar, pero sin eliminarla, y damos los espesores de 2 mm a la superficie útil y los contornos exteriores de los marcos.



*Cubierta 3-4 modelada*

### 8.8 Cubierta 2-3

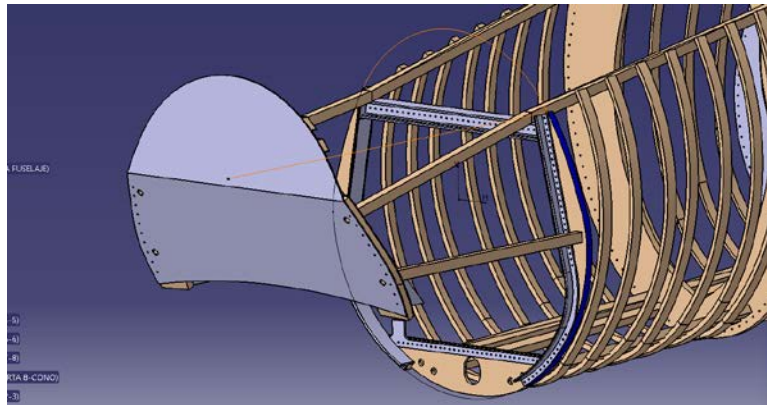
La cubierta octava vuelve a ser abierta por la parte superior. Esto es así porque debe dejar sitio al cockpit del piloto. El procedimiento a seguir será modelar dos contornos abiertos y unirlos mediante líneas. Volveremos a usar la herramienta Multi-sections Surface para modelar esta cubierta.



*Cubierta 2-3 modelada*

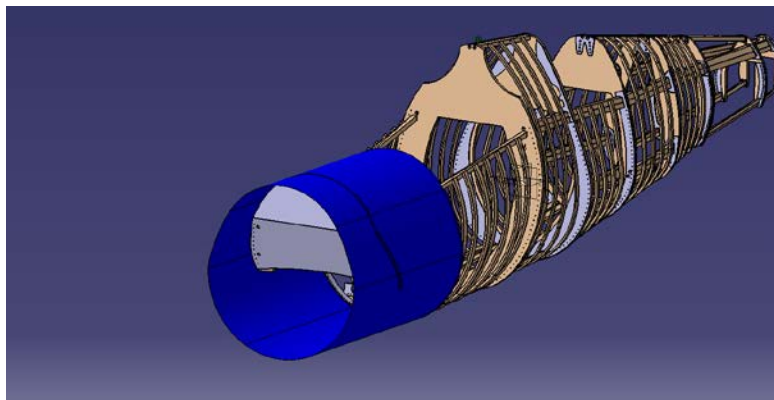
### 8.9 Cubierta 1-2

Esta cubierta es la que se encargará de cerrar el Corsair por la parte delantera. Esta modelada en dos partes: un cilindro que se extiende unos 1614 mm y otra parte redondeada, donde irá acoplado en un futuro el carenado del motor. Esta parte será modelada mediante la operación Sweep. Comenzamos creando el contorno o sección y luego la línea de 1614 mm sobre la que se extenderá dicha superficie.



*Línea y contorno de la cubierta*

A continuación modelamos la primera parte de la cubierta seleccionando la línea y el contorno anterior.



*Operación de Sweep ejecutada*

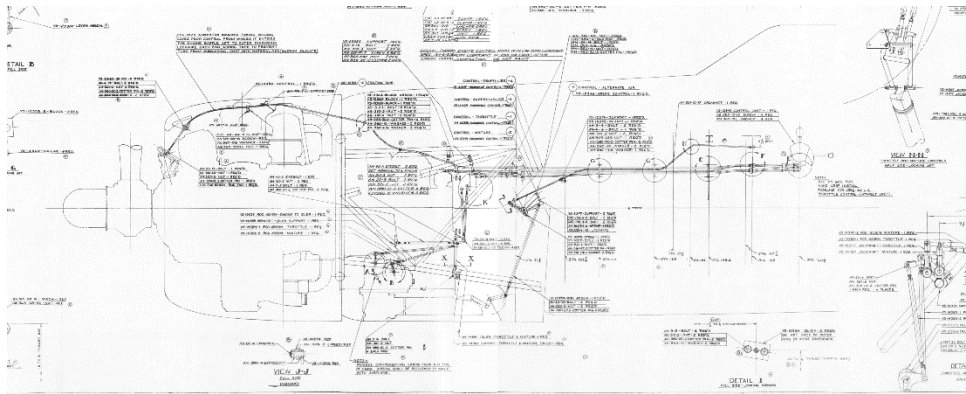
Por último debemos modelar el final de la cubierta, el cual tiene una forma redonda que permitirá el ensamblaje del carenado del motor, que se modelará más adelante.

Esta parte se hará con un Multi-sections Surface, usando como secciones la final del Sweep anterior y una circunferencia de radio 563 mm a unos 169,255 mm. Estas cotas fueron tomadas de otro plano diferente al inicial, escalando las medidas a un factor de escala de 15,368.



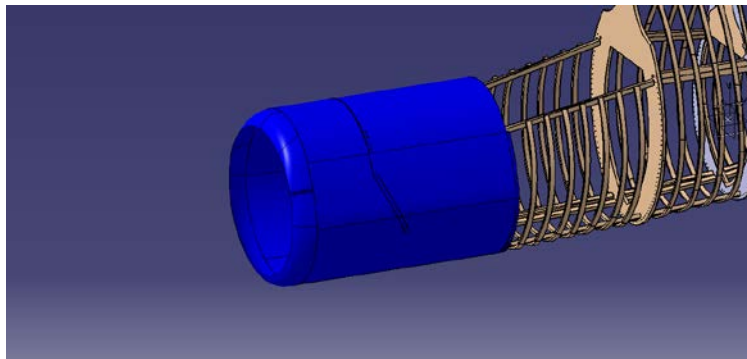
*Sweep*



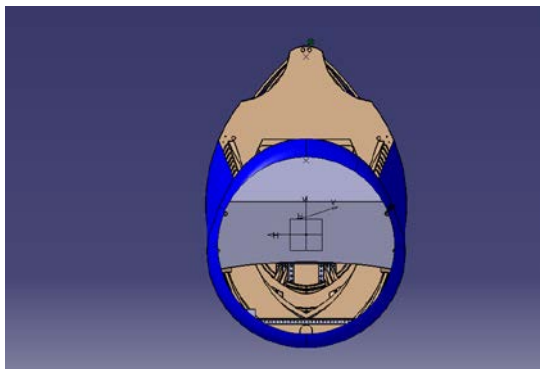


*Plano perfil de la parte delantera*

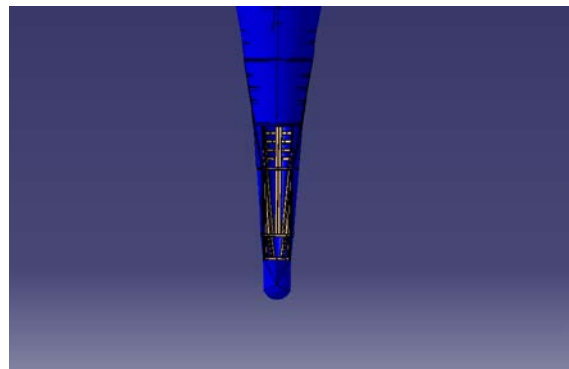
Finalmente, completamos la última cubierta dando espesor a todo lo modelado, atribuyéndole unos 2 mm con la herramienta ThickSurface. Superponemos todas las cubiertas modeladas para así finalizar el modelado de este apartado.



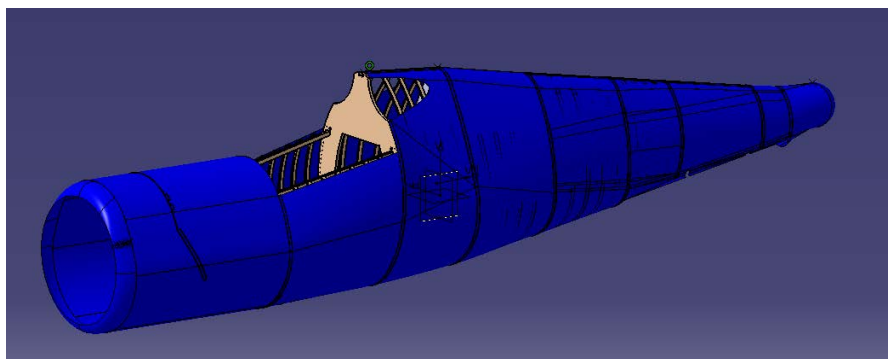
*Cubierta 1-2 modelada*



*Vista frontal*



*Vista inferior*



*Cubierta modelada junto con el fuselaje*

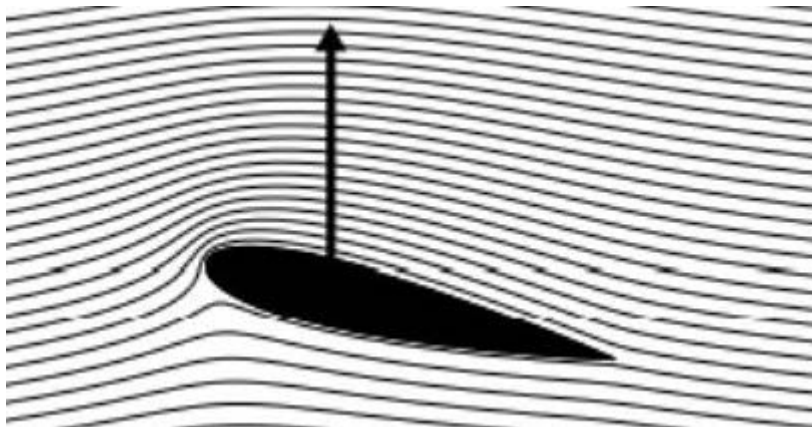
## 9. SUPERFICIES DE CONTROL

Los aviones se controlan gracias a unas piezas móviles esenciales para su funcionamiento, las llamadas superficies de control. Estas superficies son: el timón de profundidad, que permite bajar o subir la cola del aeroplano provocando un cambio de dirección o giro en el empuje provocado por el motor. El timón de dirección, que permite el giro alrededor del eje Z. Los flaps, que aportan una mayor resistencia aerodinámica, provocando un frenado en el aterrizaje y una elevación más rápida en el despegue. Y por último los alerones, que permiten el alabeo del avión, inclinándolo hacia un lado u otro según el cambio de dirección que queramos. Estas superficies de control siguen el mismo principio básico, cumplen la ecuación de Bernoulli, la cual dice que si en una línea de corriente aumenta la velocidad en un punto, en ese mismo punto debe caer la presión, para que la siguiente relación siga siendo constante.

$$P + \rho gz + \frac{1}{2}\rho v^2 = cte$$

El efecto que tiene una superficie de control es aumentar o disminuir la superficie o distancia que debe recorrer una partícula fluida. Esta partícula fluida deberá por tanto recorrerla a una mayor velocidad si esta distancia aumenta y recorrerla a una menor velocidad si el recorrido disminuye. Esto debe ser así para que se cumpla el balance de materia antes y después del paso de dicho aeroplano a través del fluido.

Estos cambios de velocidad provocan por tanto diferencias de presión en su extradós (cara exterior) y su intradós (cara interior) que proporcionan un empuje en un sentido u otro según la posición de la superficie de control.



*Líneas de corriente al paso de un cuerpo fuselado*

En este caso podemos observar como la longitud de las líneas de corriente del extradós son mayores, lo que obliga a una mayor velocidad del fluido provocando un descenso de la presión. Ocurre lo contrario en el intradós, aparece una disminución de la longitud de las líneas de corriente y por tanto de

su velocidad lo que provoca un aumento de la presión, proporcionando un empuje vertical en el sentido de la disminución de la presión.

Desde el punto de vista que nos ocupa, disponemos de información suficiente para modelar todas y cada una de las superficies de este avión, aunque se ha tenido que investigar en más profundidad sobre el perfil NACA que usaron en la época.

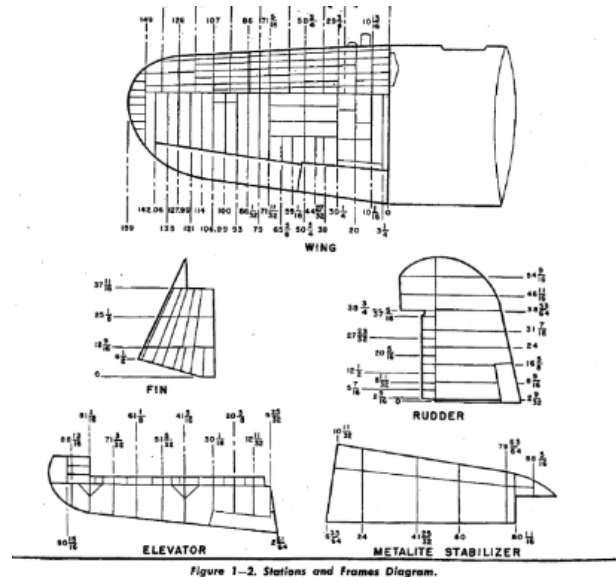
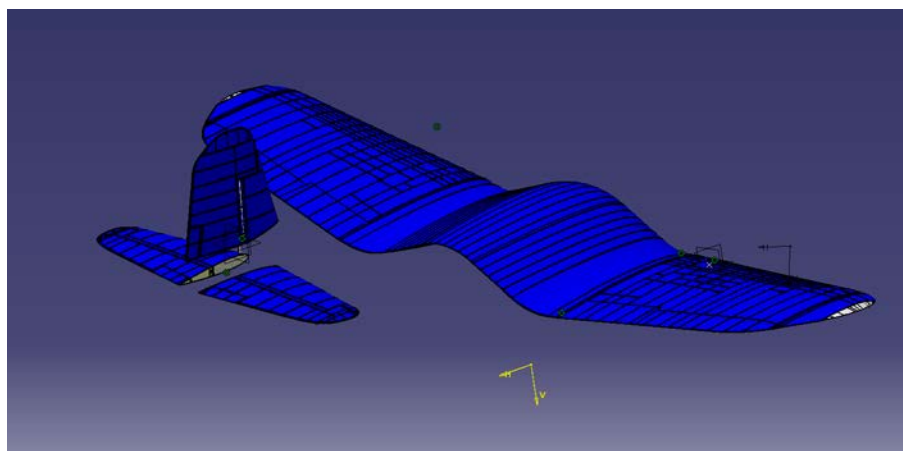


Figure 1-2. Stations and Frames Diagram.

*Situación de las costillas de las superficies de control*

A continuación, procederemos al modelado de cada una de las superficies de control, sus sistemas de compensación o Trim y los mecanismos de rotación de cada una. Como se menciona al principio del proyecto, no será objetivo del mismo el diseño y modelado de la parte que actúa sobre dichos mecanismos de rotación, sino el modelado de bisagras, ejes y otras piezas auxiliares.

Después de un modelado complejo en el que tendremos que usar Macros entre Excel y Catia llegaremos al siguiente resultado.



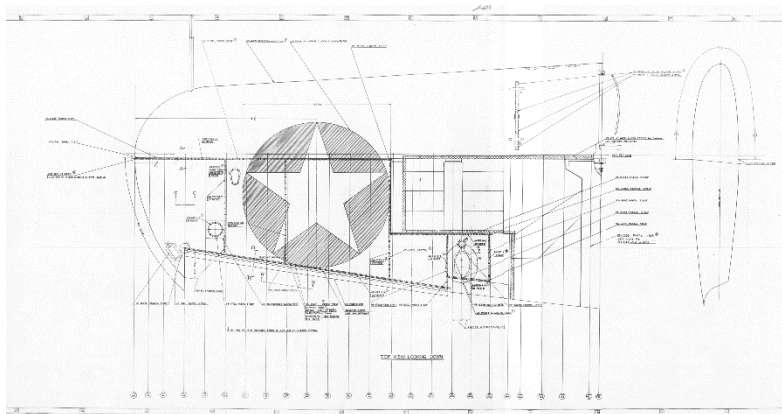
*Superficies de control modeladas*

## 9.1 Cajón lateral

Denominamos al cajón lateral a la parte donde se encuentran los alerones. Normalmente se encuentra en la sección central del fuselaje y permite el alabeo del aeroplano. En este avión en concreto, además esta parte es abatible, por lo que encontramos dos claras características para separar esta pieza del resto del ala. Es por ello que se modelará en dos partes principales, una panza y un cajón lateral al que le efectuaremos el simétrico al final de su modelado.

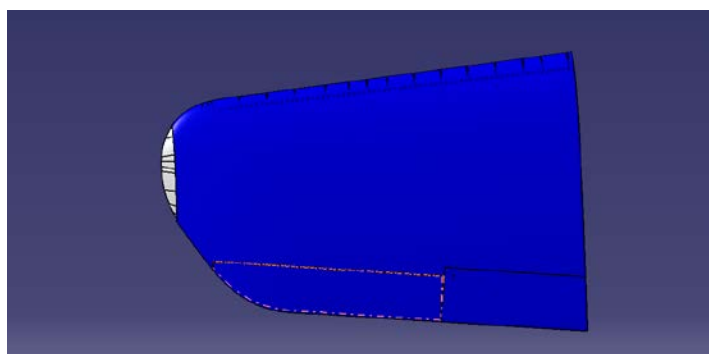
El modelado del cajón lateral se dividirá a su vez en varias partes: primero calcularemos la superficie con macros, luego las costillas interiores o estructura, luego los largueros que unen dichas costillas y un suelo donde irán apoyados los distintos depósitos, armas y sistemas electrónicos e hidráulicos que se encuentren dentro del cajón.

Para ello disponemos de planos donde podemos obtener con facilidad guías y dimensiones con las que poder trabajar.



*Plano de situación de costillas*

El procedimiento será el siguiente: modelaremos en primer lugar la superficie exterior para luego mediante intersecciones, poder modelar a la perfección las costillas internas. A continuación solo tendremos que tirar largueros entre estas costillas y tapar los huecos necesarios mediante placas. Estos huecos vienen claramente definidos por planos.



*Cajón lateral modelado*





longitud unidad, por lo que tendremos que multiplicar o escalar dicho perfil a partir de la información que disponemos en plano.

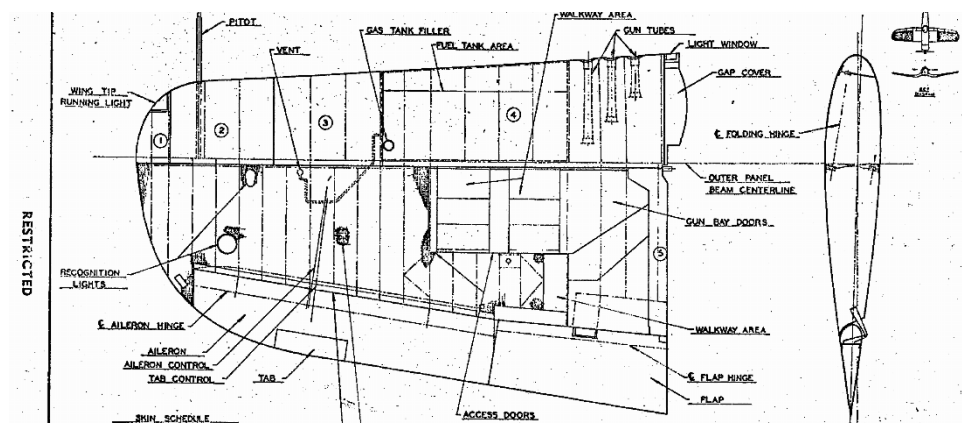
A continuación, buscamos el archivo Excel *GSD\_PointSplineLoftFromExcel* en el directorio donde instalamos nuestro software Catia V5 y lo copiamos en una carpeta aparte. Lo que veremos será la siguiente imagen.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	StartLoft								
2	StartCurve								
3		0	-90	10					
4		0	-30	60					
5		0	50	60					
6		0	110	20					
7	EndCurve								
8	StartCurve								
9		50	60	0					
10		50	10	40					
11		50	50	40					
12		50	70	0					
13	EndCurve								
14	StartCurve								
15		100	-100	-10					
16		100	-40	35					
17		100	0	50					
18		100	75	40					
19		100	140	0					
20	EndCurve								
21	EndLoft								
22	End								
23									
24									

Archivo *GSD\_PointSplineLoftFromExcel*

En esta hoja, tendremos que borrar los datos centrales, dejando únicamente el encabezado y el final (StartLoft, StartCurve/EndCurve, EndLoft, End) e introducir nuestros nuevos puntos en las 3 primeras columnas y en las filas centrales. Es muy importante comprender que la primera fila se corresponde con el eje X global, la segunda con el eje Y y la tercera con el eje Z. De esta forma, podremos manipular los puntos obtenidos en la web [airfoiltools.com](http://airfoiltools.com) para situar nuestro spline en el lugar que queramos en Catia.

Como dije al inicio, el spline inicial mide 1 mm de longitud, por lo que si los escalamos usando los planos, tenemos que miden 1392,13 mm el perfil NACA 23009 y 2667 mm el perfil NACA 23015.

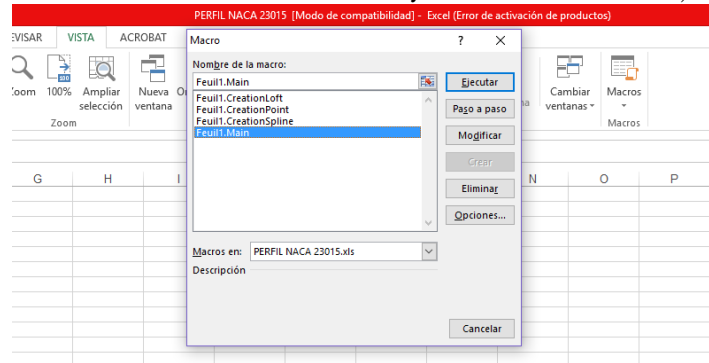


Plano cajón lateral



Con este plano de escala 1:28,286 hallamos el desplazamiento del perfil externo, ya que podemos ver que su punta no coinciden, pero si el centro del perfil. Tomando medidas, desplazamos en el Excel la coordenada Y 482,72 mm y ejecutamos las dos hojas de Excel.

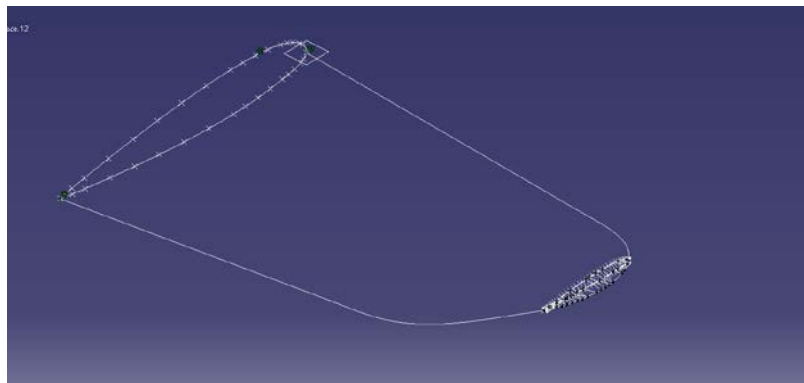
Seguimos el siguiente procedimiento: Vista-Macros-Ver Macros, en la pestaña Macros en: seleccionamos el nombre de nuestra hoja, en mi caso PERFIL NACA 23015-seleccionamos Feuil1.Main y a continuación Ejecutar.



*Cuadro para activar la Macro*

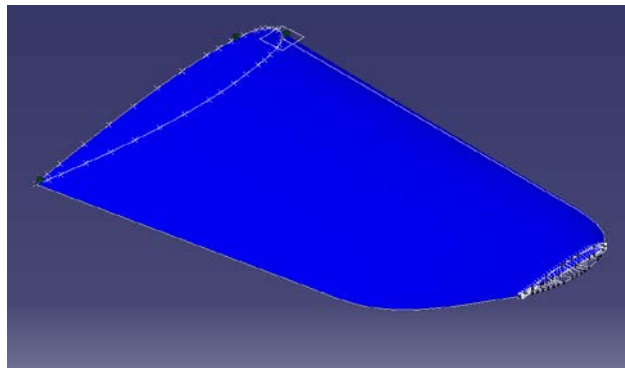
Es muy importante llevar a cabo estas operaciones en la copia de la hoja que encontramos en la carpeta de instalación de Catia en nuestro ordenador, no en unas hojas de Excel abiertas desde cero.

Una vez ejecutados las dos macros por separado, solo tenemos que unir ambos perfiles por dos guías que representen el borde de ataque de nuestro cajón lateral y la línea del alerón y flap.



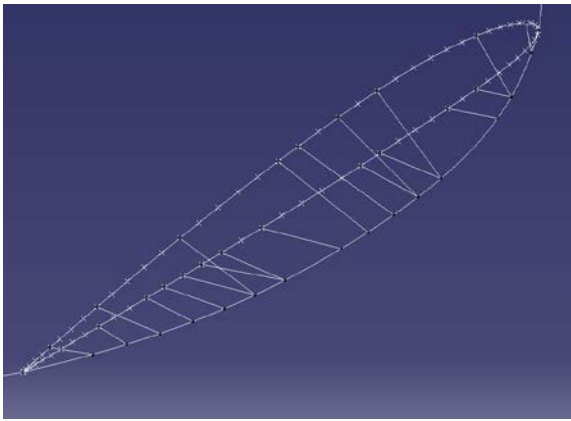
*Perfiles NACA 23015, NACA 23009 y borde de ataque*

Después, ejecutamos la operación de Multi-sections Surface, seleccionando los dos perfiles como secciones y el borde de ataque como guía. Por último, crearemos una curva y varias líneas que unan esta curva con el perfil NACA 23009 para cerrar así el modelo.

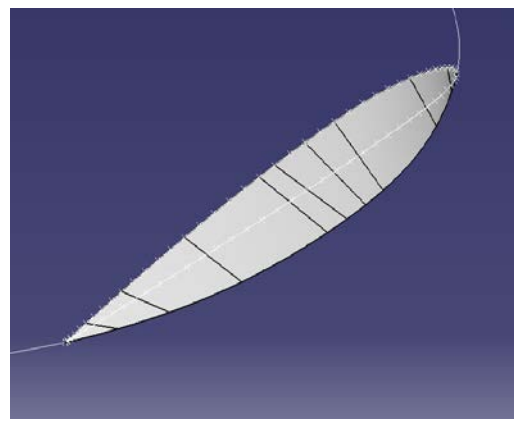


*Cubierta principal modelada*

Por último, ejecutamos otro Multi-sections Surface para el extremo de nuestra cubierta, seleccionando el perfil NACA 23009 y la curva como secciones y las líneas como guías.



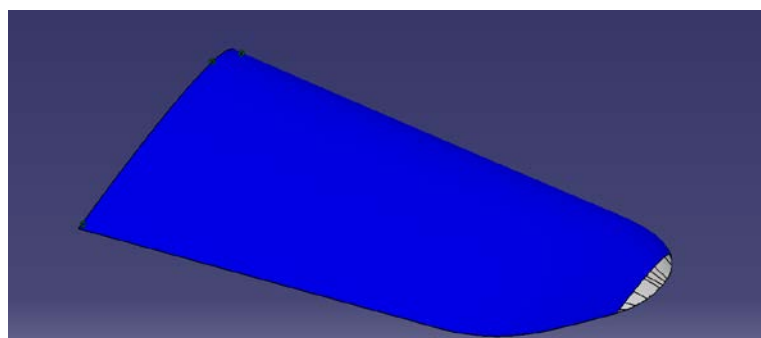
*Curvas y líneas del extremo*



*Extremo modelado*

Como bien hemos visto en plano, esta parte se corresponde con la iluminación del Corsair, por lo que dejamos indicado el lugar donde irá alojada la correspondiente bombilla y sistema eléctrico de control.

El espesor que le daremos a esta cubierta será de 0,04", unos 1,016 mm, usando el comando ThickSurface, un valor medio de entre los distintos espesores que tenemos y la extensión que ocupa cada uno.

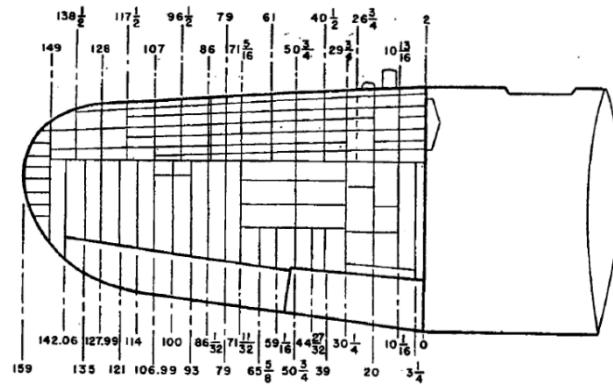


*Cubierta del cajón lateral modelada*

### 9.1.2 Estructura abatible

Esta parte es sencilla de modelar. Primero crearemos los planos donde irán alojadas las costillas del cajón lateral para luego calcular la intersección en cada uno de ellos con la superficie que acabamos de modelar.

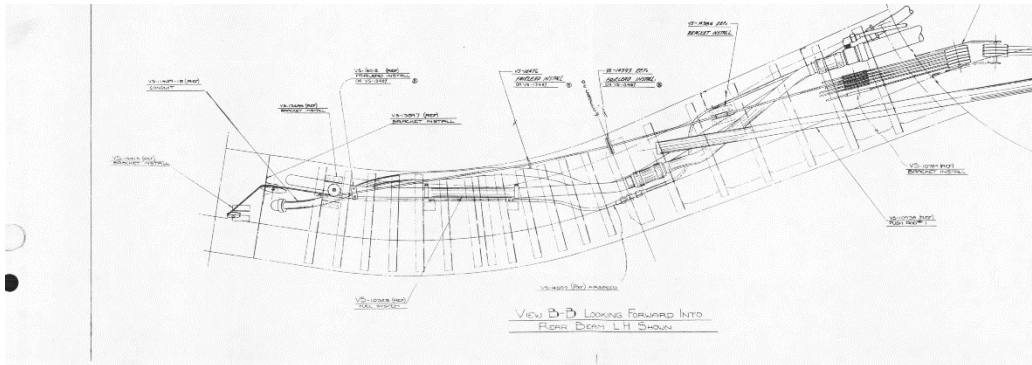
A partir del siguiente plano podemos colocar perfectamente cada plano con respecto la parte interior de la cubierta.



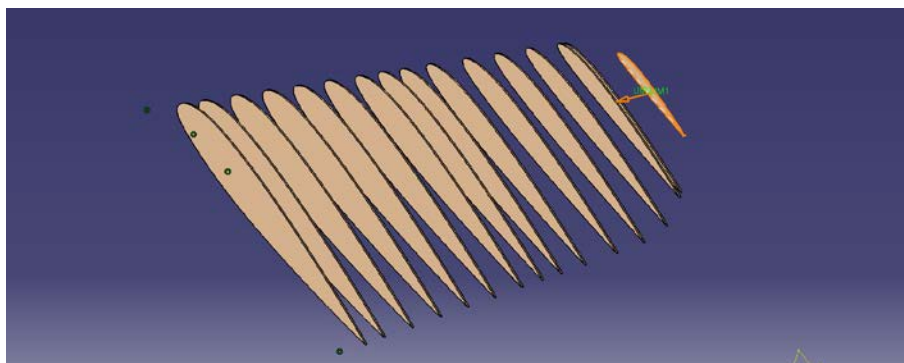
Situación de las costillas

Una vez colocados los planos, calculamos la intersección en cada Sketch con la herramienta Intersect 3D elements y finalmente le damos un espesor de 13,49 mm con la operación Pad.

El espesor lo obtenemos a través de otro plano de escala 1:3,606

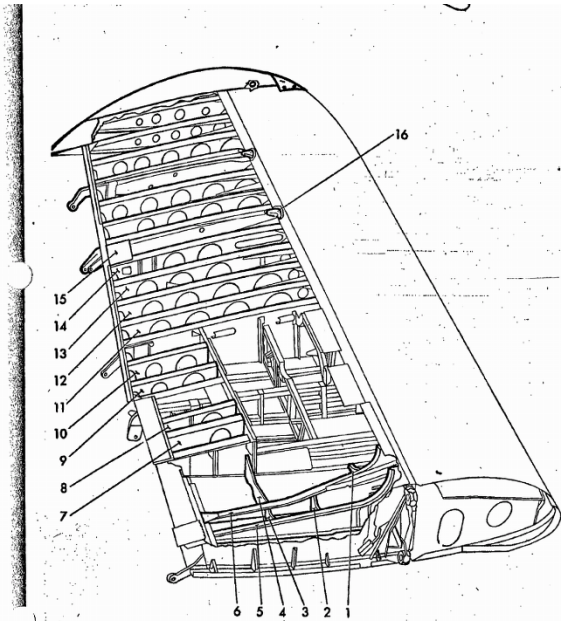


Alzado de la panza

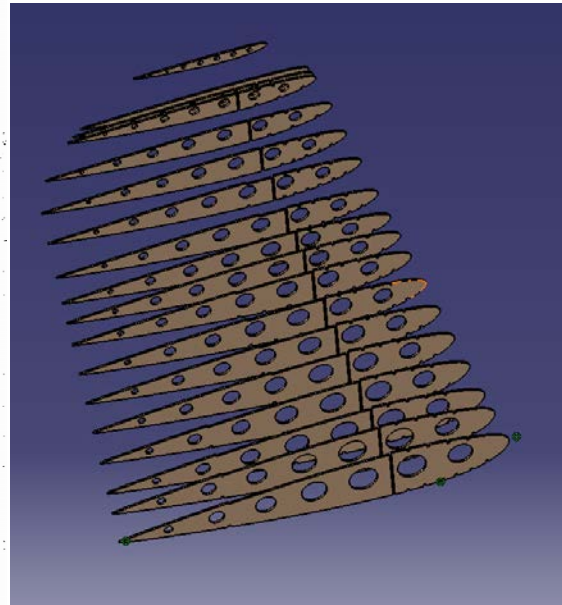


Costillas en verde

A continuación, hacemos los vaciados internos de las costillas. Esto se suele hacer para aligerar el peso, ya que la tensión que soportan dichas costillas no es demasiado alta. A partir de la siguiente imagen, procedemos a hacer un Removed Multi-sections Solid, que no es más que la operación inversa al ya utilizado Multi-sections Solid.

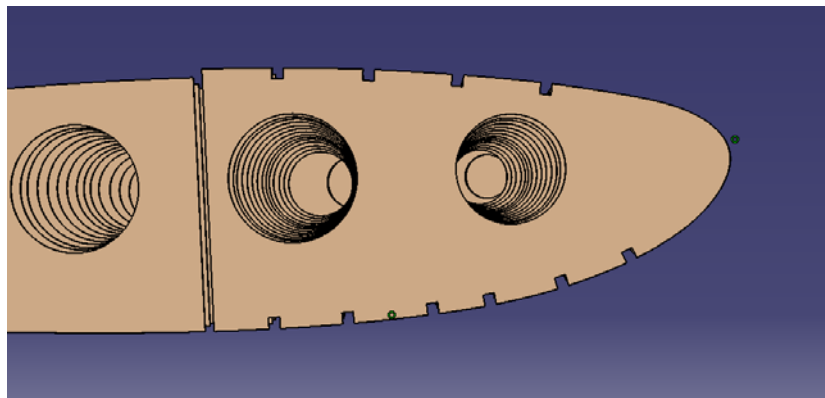


*Perspectiva de la estructura interior*



*Estructura interior vaciada*

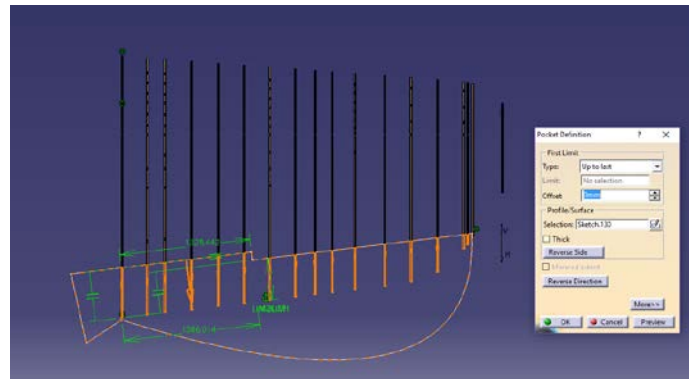
Después, hacemos los correspondientes Slots en el contorno de las costillas y cerca del borde de ataque, para dejar alojar los futuros largueros que unan las costillas entre sí.



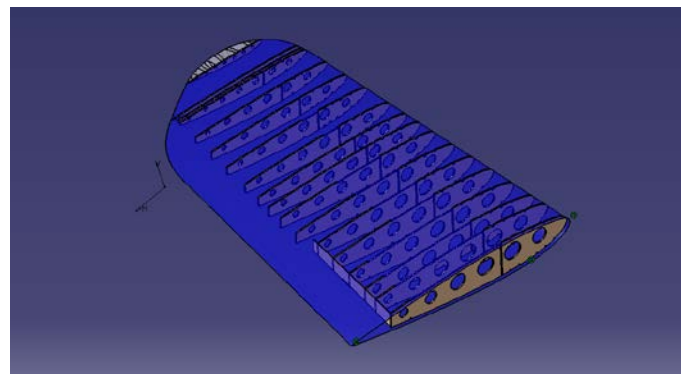
*Alojamiento de los largueros de unión*

Estos largueros tendrán unas dimensiones de 17,232 mm x 17,232 mm. Estas medidas han sido tomadas de plano donde indican el número y posición aproximada de dichos alojamientos. Por mi parte he supuesto que estos largueros se extendían por todas las costillas.

Por último, llevamos a cabo el vaciado de la superficies de control como los alerones y los flaps. Estas medidas las tomaremos de los planos anteriores.



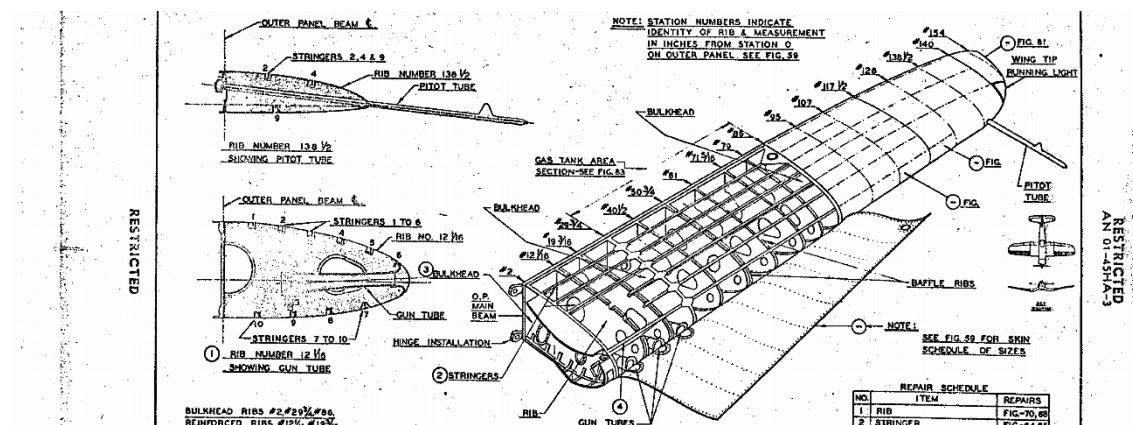
Vaciado de las superficies de control



Cubierta y estructura abatible modeladas

### 9.1.3 Largueros de unión

Con el siguiente plano podemos identificar la situación de los largueros que unen cada costilla del cajón lateral. También colocaremos unas vigas de torsión, que atraviesan el cajón lateral desde un extremo hasta el extremo del siguiente, pasando por la panza y solo cortándose en la unión de las parte abatible con la parte fija. Estas vigas serán las que proporcionen la mayor parte de la rigidez a torsión de las alas.

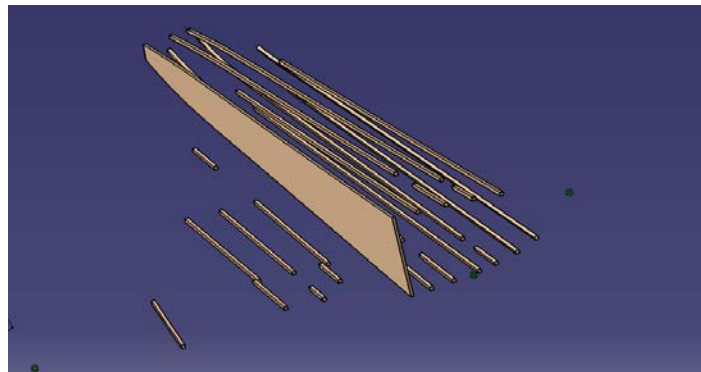


Plano sección y situación de largueros de unión



Como ya dejamos vaciados los alojamientos de estos largueros, solo tendremos que llevar acabo el rib en cada uno de ellos, teniendo en cuenta que habrá que usar la misma sección y guía usada en el Slot.

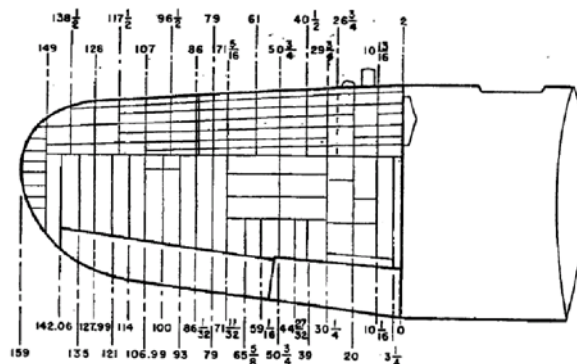
En el caso de las vigas, tendremos que usar un Multi-sections Solid, ya que la sección en cada extremo tiene dimensiones distintas. La sección en cada extremo tendrá las dimensiones que permita el espesor del perfil en esa sección, mientras que el resto de largueros serán de 17,232 mm x 17,232 mm.



*Largueros de unión*

#### 9.1.4 Suelo estructura

Este suelo está compuesto por varias partes, no son más que planchas que servirán de apoyo a varias piezas que son alojadas en el cajón lateral, como pueden ser los depósitos de combustibles, el armamento, sistemas de agarres, sistemas actuadores...

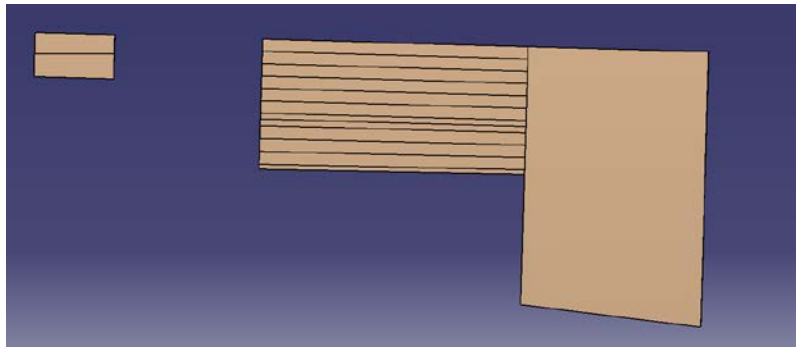


*Plano referencia cajón lateral*

A partir de la imagen anterior podemos ver el número y lugar de dichas planchas que formarán el suelo de la estructura. Como no disponemos de información sobre su espesor suponemos unas planchas de 11,7 mm.

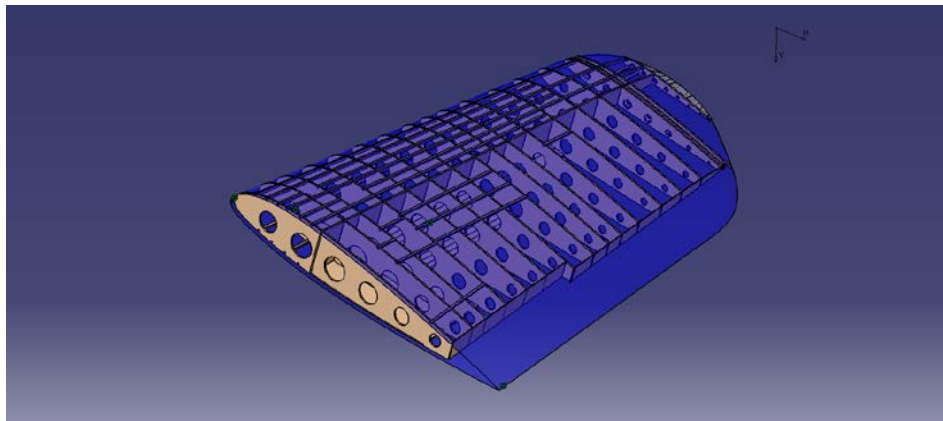
El procedimiento a seguir será el siguiente: con la herramienta Multi-sections Solid crearemos la superficie de la plancha en cada alojamiento y a continuación usaremos el comando ThickSurface para aportarle el espesor anterior.





*Suelo de la estructura modelado*

Una vez modelada cada parte, podemos asegurar que todo cuadra a la perfección, ya que hemos modelado el resto de piezas a partir de la cubierta que modelamos al principio, pero siempre tomando como referencia los planos de los que disponemos.



*Cajón lateral sin superficies de control*

## 9.2 Alerón

El alerón es la parte del ala que se encarga de variar la longitud de las líneas de corriente que recorren la superficie del cajón lateral. Al variar la longitud y mantener constante el caudal, la velocidad debe variar. Siguiendo la ecuación de Bernoulli, esta variación de velocidad provoca un gradiente de presiones entre la superficie superior o extradós, y la parte inferior o intradós. Esta variación de presiones provoca un empuje en la superficie del ala que desemboca en un par de giro sobre el eje longitudinal del avión. De esta forma, el piloto puede controlar el giro y a su vez la dirección. El sistema que acciona los alerones está diseñado de forma que el alerón izquierdo gire lo mismo que el alerón derecho, de forma que este mecanismo efectúa el menor empuje posible sobre el avión, solo consiguiendo si giro.

A modo de ejemplo y visualizando el aeroplano de frente, si el alerón derecho desciende y el alerón izquierdo se eleva, el empuje sobre el ala derecha es positivo y sobre el ala izquierda negativo, lo que origina un momento que provoca el giro del aeroplano en sentido antihorario.

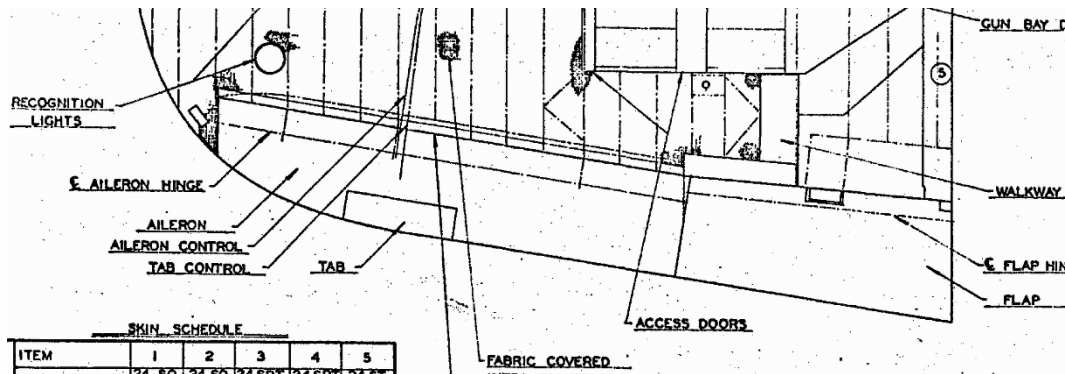


Dibujo 1

Esquema de efecto de los alerones

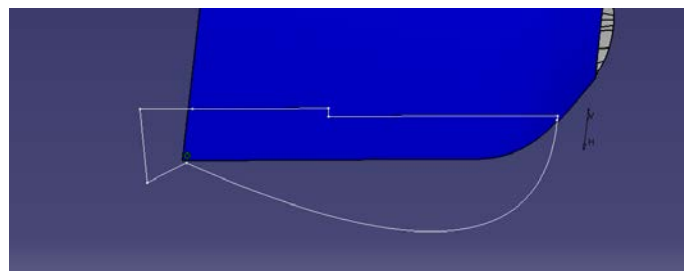
### 9.2.1 Cubierta alerón

Para el modelado de la cubierta del alerón, utilizaremos el modelo de la cubierta del cajón lateral. Primero, usaremos un plano para determinar su forma y a continuación haremos un Split con una superficie auxiliar.



Plano alerón

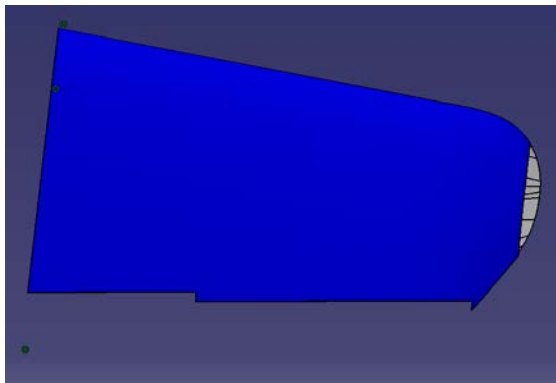
No disponemos de ninguna cota, pero usaremos una regla y la escala de esta imagen para extraer toda la información posible. A continuación procedemos a adaptar la superficie del cajón lateral que va a alojar esta pieza.



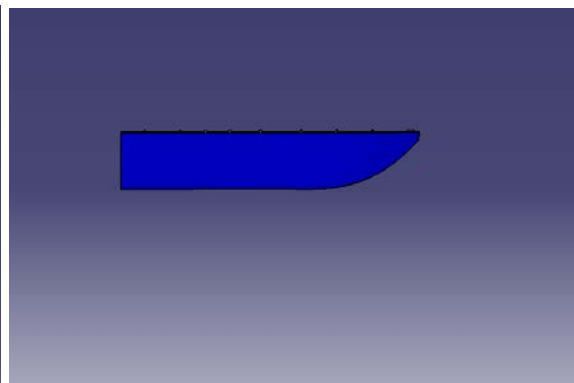
Sketch del Split

Una vez efectuado el Split, solo tendremos que copiar el archivo de cubierta del cajón lateral y nombrarlo como cubierta alerón para poder insertarlo en nuestro product. A continuación, modificaremos la operación de Split anterior pulsando la opción Reverse Side, consiguiendo que el corte de la superficie auxiliar con la cubierta del cajón lateral origine la superficie interior de dicha superficie.

Por último, le daremos un espesor similar al de la cubierta del cajón lateral de 3 mm y realizaremos un Split de 20 mm sobre el contorno en contacto con el ala, ya que la cubierta tiene que permitir el giro previsto y no provocar intersecciones.



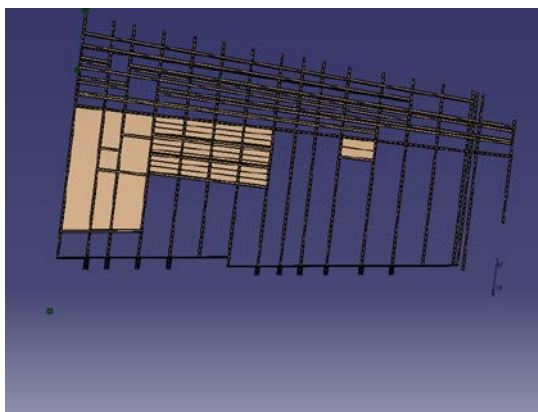
*Cubierta cajón lateral*



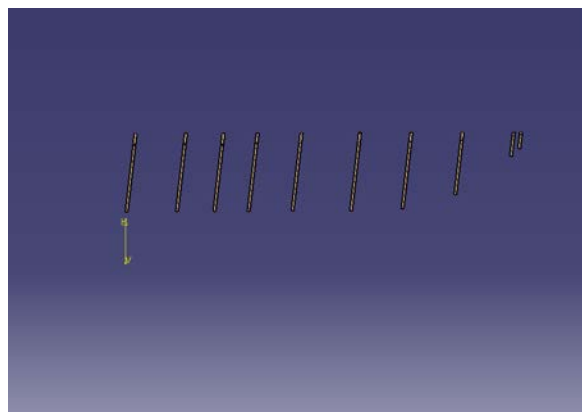
*Cubierta alerón*

### *9.2.2 Estructura alerón*

Para la estructura del alerón haremos el mismo procedimiento anterior. Usaremos la estructura del cajón lateral para crear la estructura del alerón. Solamente tendremos que copiarla y hacerle el mismo vaciado que al cajón lateral, pero esta vez pulsando la opción de Reverse Side, en el cuadro de Pocket.



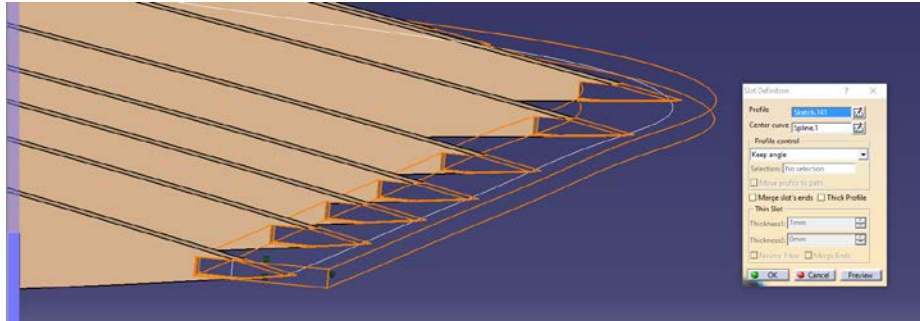
*Estructura abatible cajón lateral*



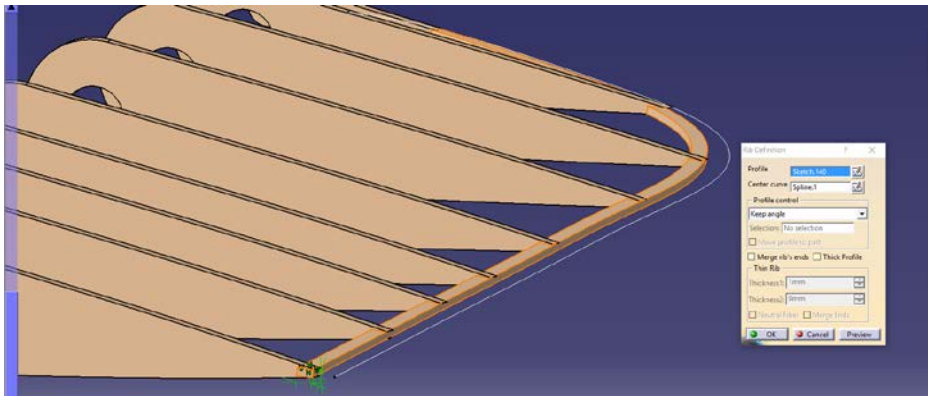
*Estructura alerón*

La estructura del alerón tiene por tanto una serie de operaciones y taladros y piezas auxiliares indispensables para su funcionamiento.

Para unir cada costilla entre sí y formar una pieza sólida, haremos un larguero que irá colocado en el contorno de dichos largueros. Como no disponemos de información, supondremos un larguero de sección 5 mm x 10 mm, creado a partir de un Rib. Antes de crear este Rib, tendremos que modelar el alojamiento



*Operación de Slot*



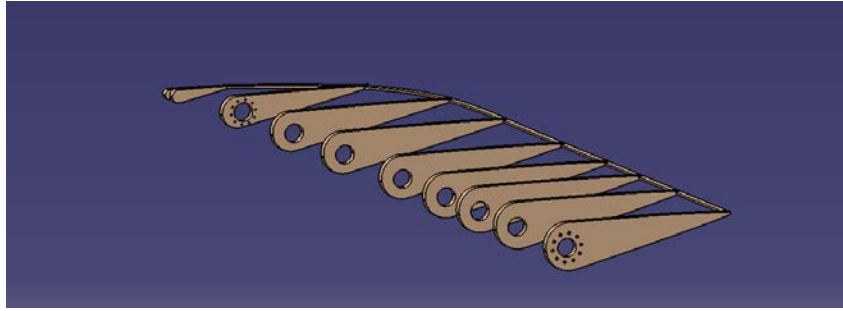
*Operación de Rib*

de dicha pieza, que se llevará a cabo con la operación inversa del Rib, el Slot.

La colocación de dicho larguero irá determinada por la presencia de la cubierta. Esto quiere decir, que colocaremos la sección del larguero lo más cerca del extremo de las costillas pero sin sobre pasar dicho contorno, ya que eso provocaría un intersección entre larguero y cubierta.

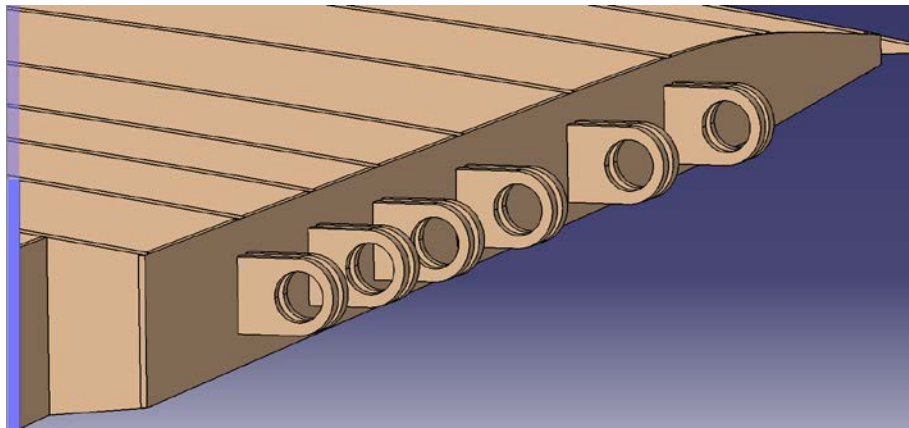
Como se expuso en el apartado del alcance del proyecto, no se modelarán los sistemas actuadores del avión, pero sí los mecanismos que ejercen esa operación, por tanto tendremos que adaptar dicho alerón al alojamiento de un eje de rotación y al ensamblaje con la estructura del cajón lateral.

En primer lugar, procedemos a crear los orificios donde se introducirá tal eje. Este orificio será de 40 mm e irá colocado a 50,261 mm de la estructura del ala. Los orificios serán creados con un Hole que irá paralelo a la placa de torsión de la estructura del cajón lateral. Esta distancia nos permitirá en un futuro un giro del alerón mayor de 20°. Luego haremos un Edge fillet en las costillas para redondearlas hasta que el extremo sea totalmente círculo.



*Alojamientos del eje de rotación*

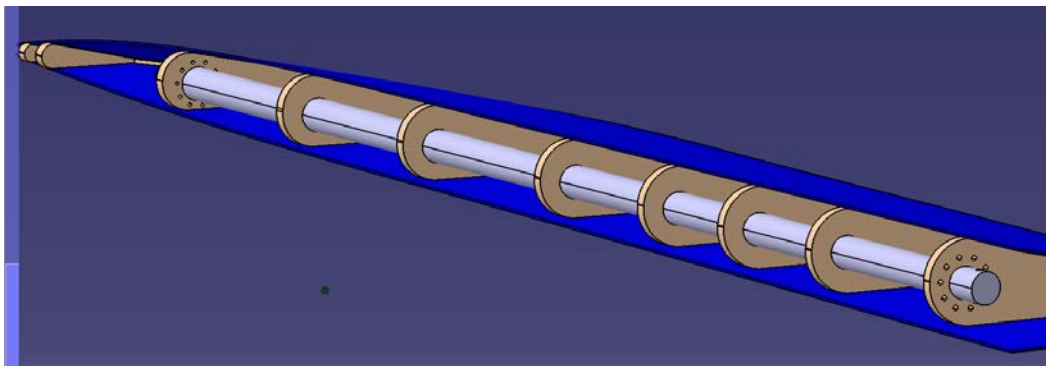
En segundo lugar, tendremos que crear las orejas correspondientes que simularán la bisagra en la estructura del cajón lateral. Estas bisagras irán soldadas a la viga de torsión colocada entre dicha estructura y el alerón. Las dimensiones de estas orejas serán de un diámetro de 60 mm. La operación que usamos para modelar las orejas son simples Pad de 10 mm de espesor



*Orejas del cajón lateral*

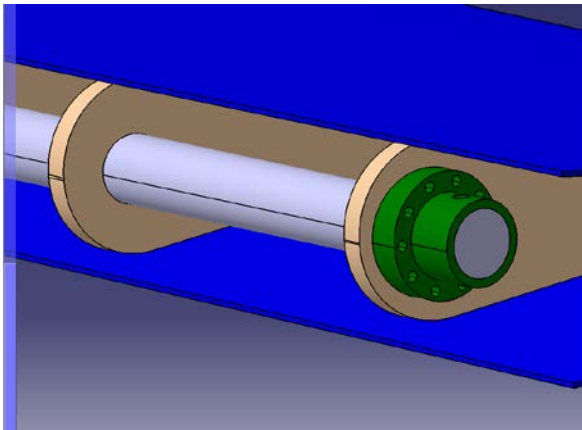
### *9.2.3 Sistema de rotación del alerón*

Para que el alerón realice su función, éste debe girar sobre un eje, el cual medirá 1822 mm con un diámetro de 40 mm. Este eje irá alojado dentro de los orificios de la estructura del alerón y será modelado como Pad.

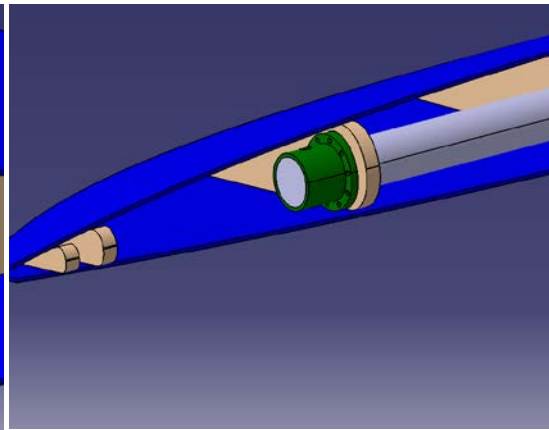


*Eje de rotación*

Luego, modelamos una pieza fundamental para que dicho eje sea solidario con el alerón. Al girar el eje, este debe provocar a su vez el giro de la estructura del alerón y evitar su deslizamiento. Modelamos en los dos extremos del eje dos piezas que van atornilladas a una costilla del alerón y fijada por una chaveta al eje. Las dimensiones serán impuestas por el espacio que nos permiten las costillas. Los 10 taladros de esta pieza serán de 6,35 mm como los usados en las costillas del fuselaje, y la chaveta será de 10 mm de diámetro. Por último, tendremos que vaciar el mismo espacio en la costilla del fuselaje para que los tornillo que usemos sean por tanto pasantes y se puedan roscar por el lado opuesto.



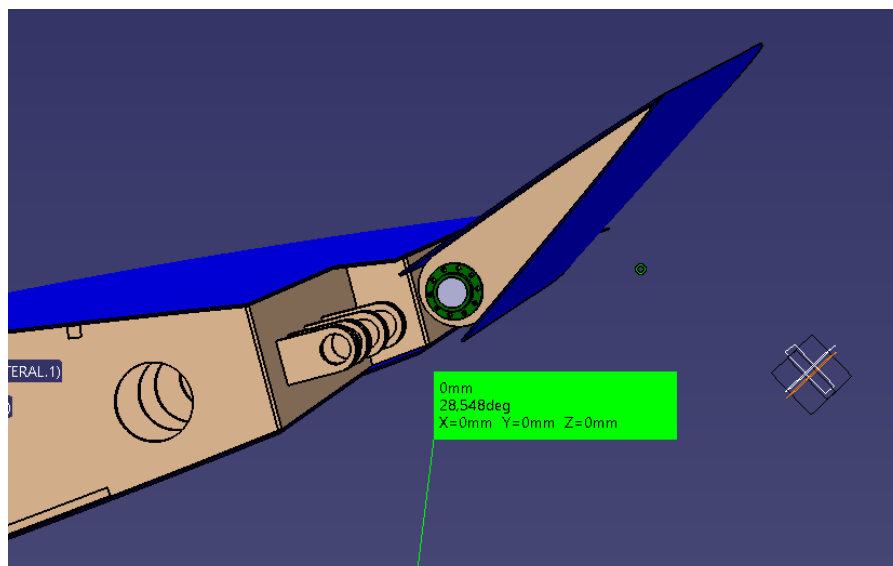
*Rosca eje de rotación*



*Rosca eje de rotación*

Este sistema de fijación de eje-superficie de control será usado en el resto de superficies como los timones de dirección y profundidad así como los 6 flaps del Vought Corsair F4U.

Por último, comprobamos que tanto el ala como el alerón no chocan entre sí antes de que ñeste último rote una cantidad mayor de 25°.

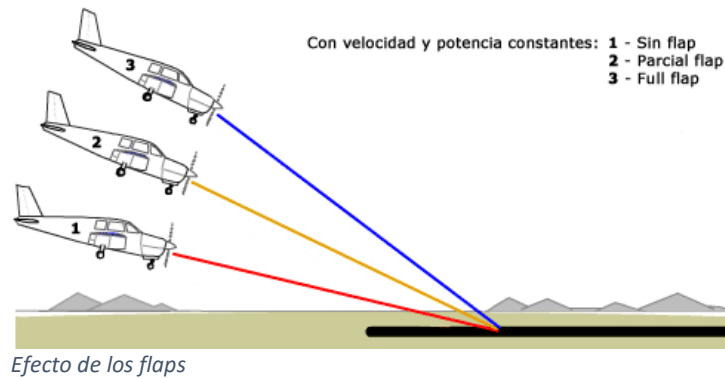


*Rotación del alerón mayor de 25°*



### 9.3 Flap 1

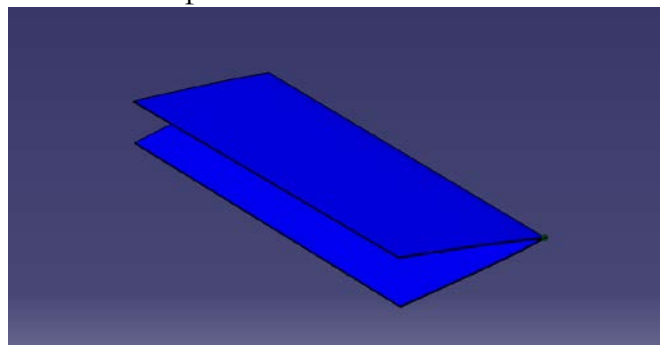
El flap es una pieza que funciona de la misma manera que el alerón, provoca variaciones de presión que provocan un empuje sobre el ala. La diferencia de esta superficie con el alerón es que giran en el mismo sentido y siempre hacia abajo, de manera que ayudan a despegar aportando un mayor empuje, y también a aterrizar, provocando el frenado del aeroplano.



En concreto, el flap 1 es el flap que se encuentra en la parte abatible del ala, uno de los 3 que lleva cada ala del aeroplano. Usaremos este flap para explicar el modelado de estas piezas, ya que tanto el flap 2 como el flap 3 siguen el mismo procedimiento. La diferencia será que el flap 2 tiene una longitud de 889 mm y el flap 3 de 844 mm.

#### 9.3.1 Cubierta flap 1

Para el modelado del flap 1 usamos la misma técnica que con el alerón. Usaremos la parte de la cubierta que corresponde al flap, copiando el mismo modelo pero invirtiendo el Split realizado.

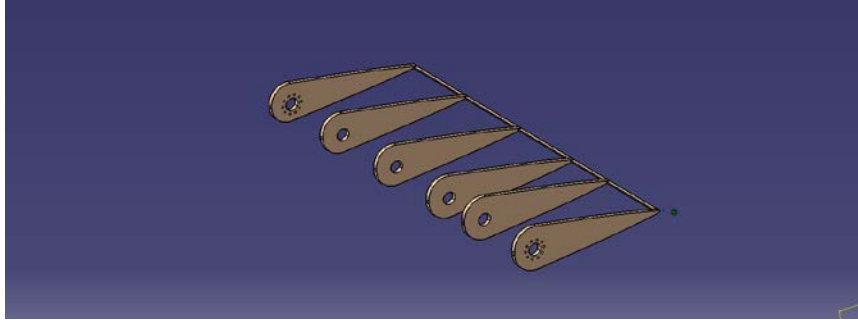


Cubierta flap 1

Una vez modelado, le daremos un espesor de 3 mm como con el resto del ala. También recortaremos 5 mm en el lado colindante al alerón para evitar interferencias durante el giro de ambas partes. Esta pieza se extiende desde el alerón hasta el final de la estructura abatible.

### 9.3.2 Estructura flap 1

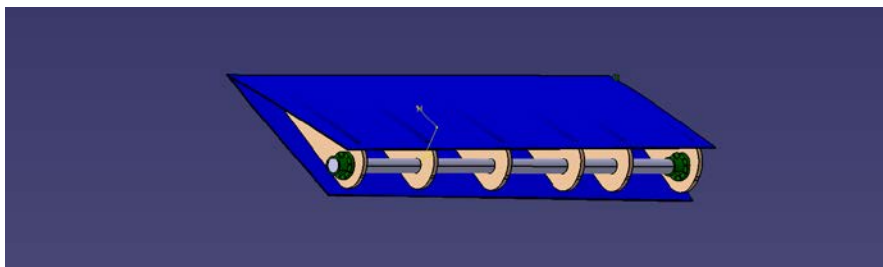
Para la estructura usaremos el mismo método utilizado en el alerón, continuamos copiando el modelo e invirtiendo la operación de vaciado de los sólidos. También haremos las operaciones de adaptación al giro de la pieza, taladrando las costillas a 40 mm de diámetro, redondeando sus extremos y colocando una viga de 10 mm x 5 mm que una todas las costillas.



Estructura flap 1

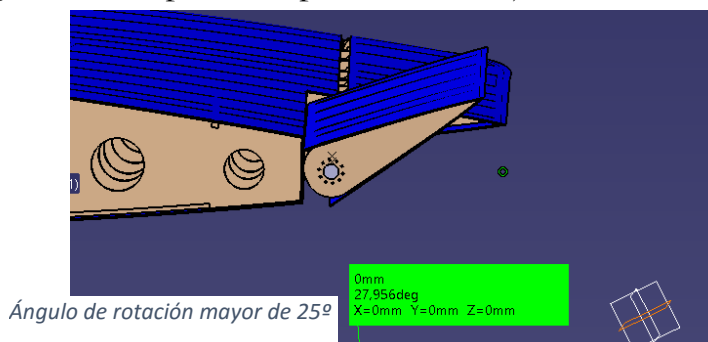
### 9.3.3 Sistema de rotación flap 1

El sistema de rotación es similar al del alerón. Consistirá en un eje de 40 mm de diámetro de 1305 mm alojado dentro de la estructura del flap. También usaremos dos roscas que solidaricen el eje con la estructura del flap unidos con una chaveta de 10 mm y 10 tornillos de 6.35 mm, las mismas que en el alerón pero adaptadas a las dimensiones del flap. Para evitar interferencia de una rosca con la panza del ala hemos decidido colocarla por el lado interior de la estructura, pero continuando en la misma costilla.



Flap 1 modelado

Igual que antes, comprobamos que el ángulo girado del flap es mayor que 25° sin que ninguna de sus partes impacte con el cajón lateral.



127

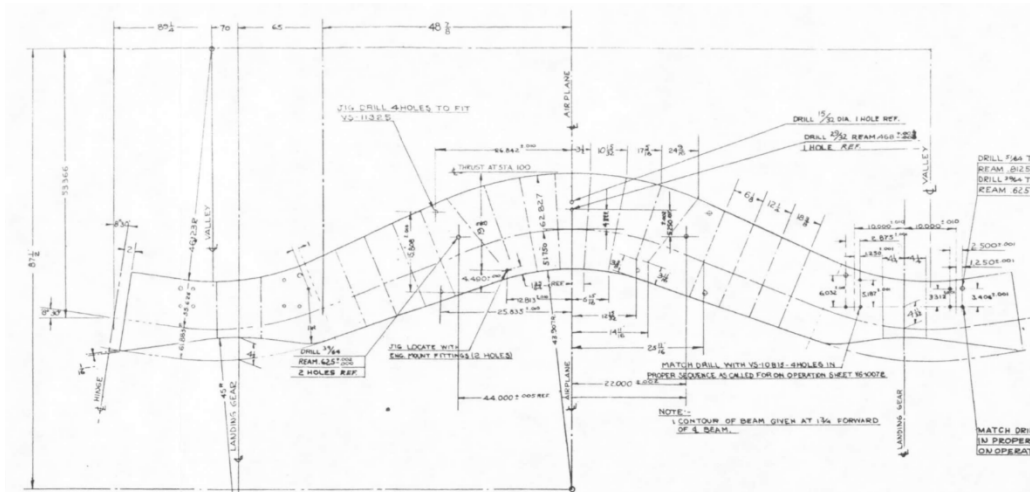


## 9.4 Panza

La panza es la parte del ala que se encuentra en la parte inferior del fuselaje. Esta parte suele ser sólida en su conjunto, sirve de acoplamiento para 4 flaps de nuestro avión y es la parte que une las superficies de control con el fuselaje. Aunque no modelaremos la unión de la panza con el fuselaje, si modelaremos las costillas y vigas de torsión que atraviesan dicha parte. Es lógico decir que la unión de esta panza con el fuselaje tendrá lugar en estas vigas, como sucede con el mecanismo del tren de aterrizaje delantero el cual se acopla a esta viga.

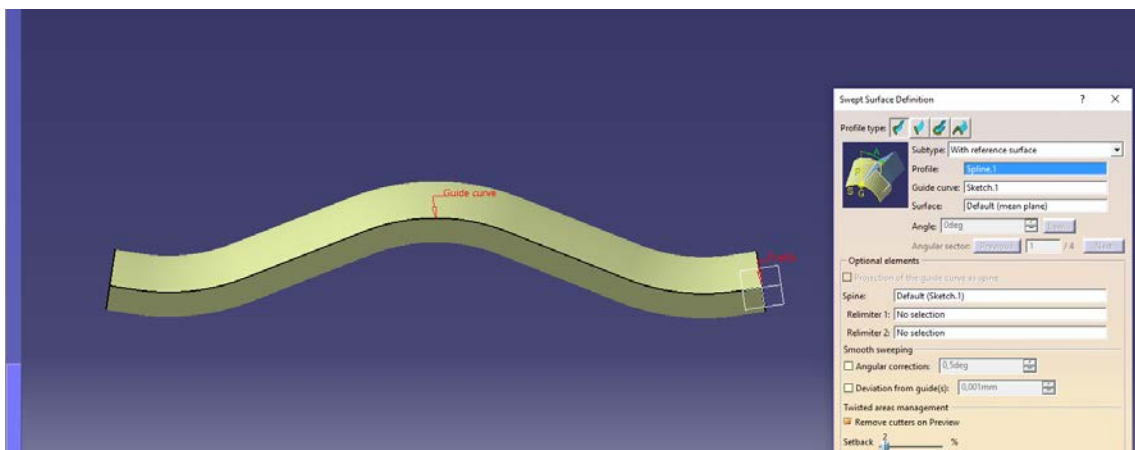
### 9.4.1 Cubierta de la panza

Para el modelado de la cubierta de la panza usaremos de nuevo la macro que creamos para el modelado de la cubierta del cajón lateral. Usaremos el mismo perfil NACA 23015, cual se extrapolará a lo largo de un spline por toda la panza. El spline será modelado según el plano que se muestra a continuación.



Plano de la panza

Una vez ejecutado el macro, disponemos del perfil NACA 23015, realizamos la operación Sweep.

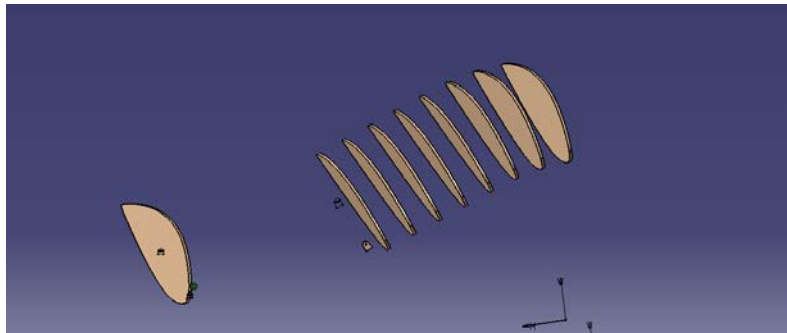


Cubierta panza modelada

Por último, le daremos a la panza un espesor de 3 mm con la herramienta ThickSurface, el mismo espesor dado en el resto de superficies de control.

#### 9.4.2 Estructura de la panza

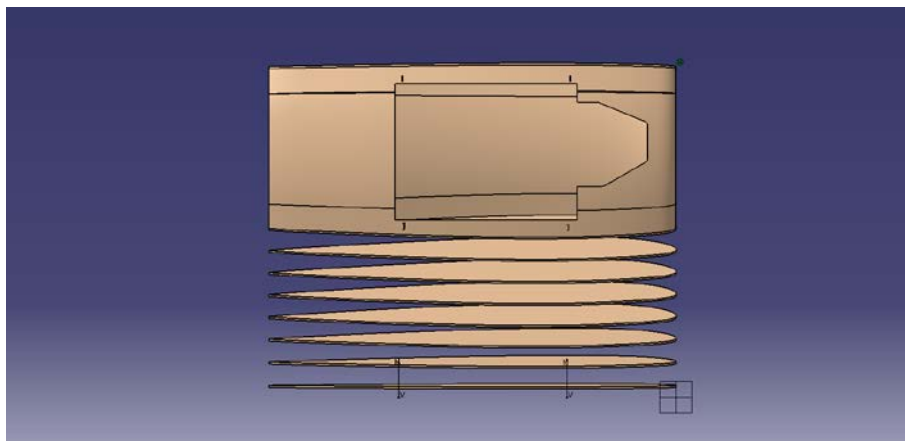
La estructura de la panza está compuesta por 18 costillas y dos vigas de torsión. El modelado de estas vigas está restringido por la cubierta modelada anteriormente, ya que usaremos la intersección de planos con dicha parte. Estos planos serán colocados previamente en el lugar donde se sitúan las costillas. A continuación creamos la mitad de las costillas con un espesor de 13,49 mm tomado del plano anterior.



*Costillas de la panza modeladas*

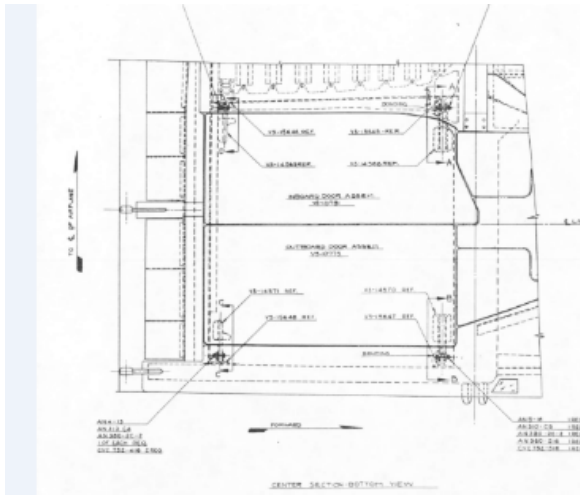
Como se puede observar, existe un hueco entre la primera costilla y el resto. Este hueco será donde vaya alojado el tren de aterrizaje delantero cuando se encuentre plegado.

Ahora modelamos el espacio o alojamiento del tren de aterrizaje delantero. Simplemente tendremos que crear una superficie que una dicha parte y más tarde un Split con la abertura para el tren.



*Alojamiento tren de aterrizaje modelado*

Esta última parte está sometida a una futura rectificación, ya que dependerá de las dimensiones de nuestro tren de aterrizaje y de su neumático. Aún así, disponemos de imágenes que nos aportan una idea de estas dimensiones.

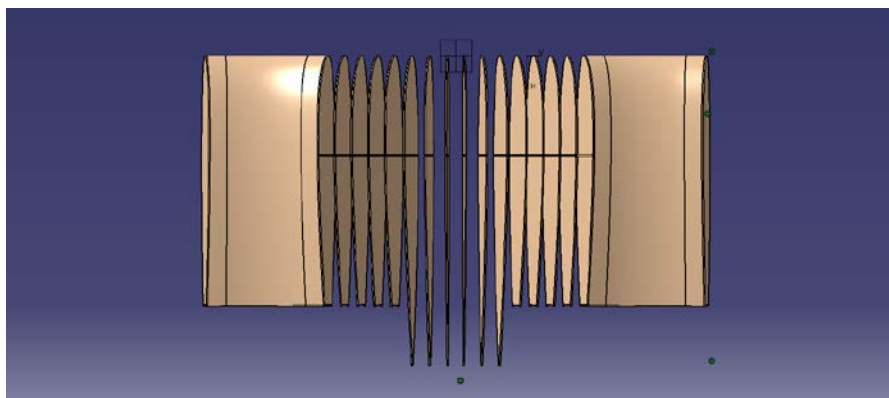


*Plano alojamiento tren delantero*

A continuación le daremos un espesor a dicha superficie totalmente estimado, el cual será de 4 mm. Este espesor debe de ser mayor que la cubierta para suplir la ausencia de costillas en esta parte. Ahora tendremos que crear el alojamiento de los flaps 2 y 3, el cual se llevará a cabo con un Pocket.

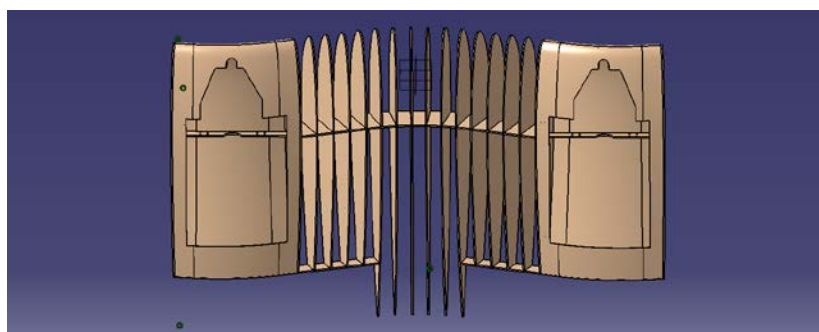
Después, modelaremos las dos vigas que atraviesan dicha panza de extremo a extremo, y que como

podremos observar, son una continuación de las vigas de torsión de los cajones laterales. En primer lugar crearemos el alojamiento de dichas vigas. Será un Slot con un spline que crearemos en el plano de dicha viga.



*Vaciados y alojamiento de las vigas modelados*

Una vez, creadas las vigas en esos espacios, vigas de 13,45 mm, modelaremos la viga que soportará el mecanismo de arrastre del tren de aterrizaje delantero. Esta viga estará sujeta a cambios por posibles variaciones futuras en el modelado de dicho mecanismo. Esta viga es continuación de la viga de torsión delantero, con el mismo espesor. La unión de estas piezas con las costillas se supone soldada.



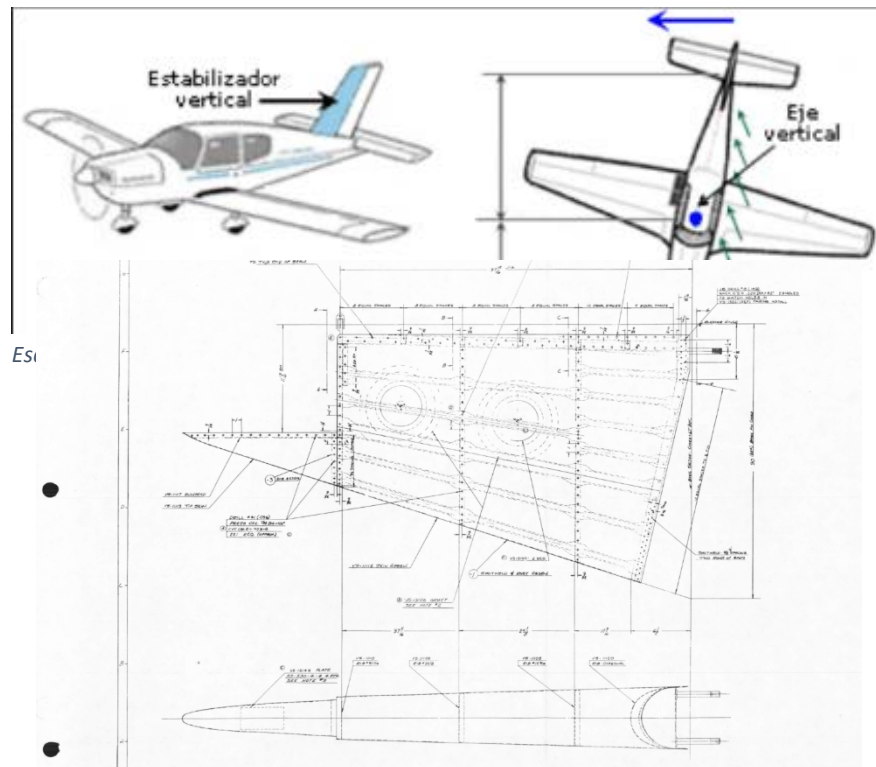
*Panza modelada*



## 9.5 Estabilizador vertical

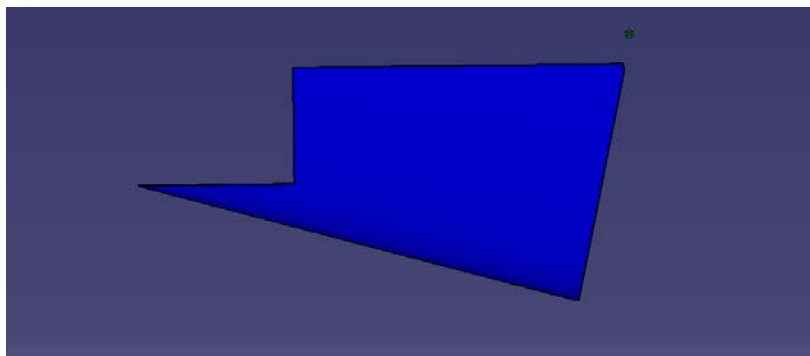
El estabilizador vertical es la estructura que soporta el timón vertical. La función de estas superficies es similar al cajón lateral junto con sus alerones y flaps, aumentar o disminuir la velocidad del paso del aire para disminuir o aumentar la presión respectivamente. Este gradiente de presión provocará por tanto un par que en este caso dará lugar a la rotación del avión respecto a su eje vertical.

### 9.5.1 Cubierta Estabilizador vertical



Plano estabilizador vertical

Para modelar la cubierta del estabilizador vertical seguiremos el mismo procedimiento usado en las macros. Solo tendremos en cuenta que esta vez es un perfil situado en el plano XY NACA 0012, es decir, un perfil simétrico como especifican sus dos primeros dígitos. Usaremos como guía el siguiente plano.



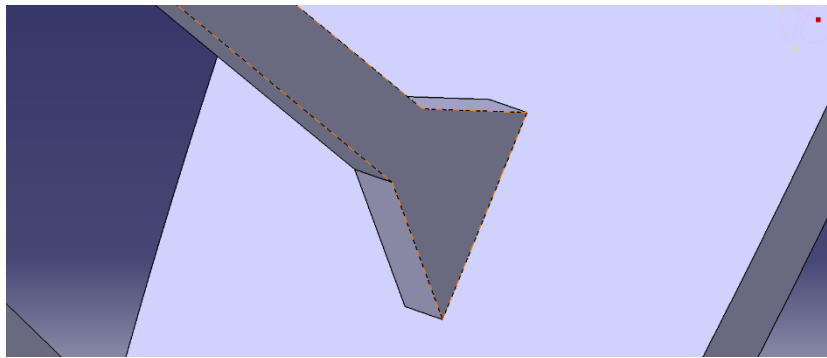
Cubierta estabilizador vertical modelada

Una vez modelado un sweep con las dimensiones obtenidas de este plano, llevamos a cabo un Split con la forma de nuestro estabilizador. Tras efectuar el Split, cerraremos la superficie donde corresponde, excepto en la parte de unión con el timón de dirección. Por último le daremos un espesor de 2 mm

#### *9.5.2 Estructura del estabilizador vertical*

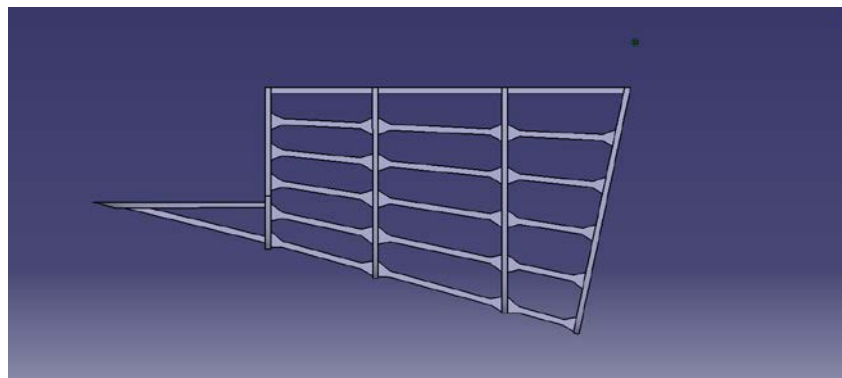
Para la estructura interna del estabilizador vertical usaremos el plano anterior. En él podemos observar la existencia de 4 costillas y largueros que unen dichas costillas. La misión de estos largueros es conseguir una estructura hiperestática para así evitar en mayor medida las deformaciones debidas a flexión.

Un detalle será el la unión de estos largueros con cada costilla. Como podemos ver, la soldadura se asemejan a unas cartelas, de manera que se aumenta en gran medida la rigidez de la estructura.



*Unión larguero costilla*

El modelado en Catia es similar al cajón lateral, usaremos la opción Pad con el sketch que consigamos de la intersección de planos con la cubierta. El espesor que le daremos a las costillas será de 14,288 mm, obtenido del escalado del plano principal.



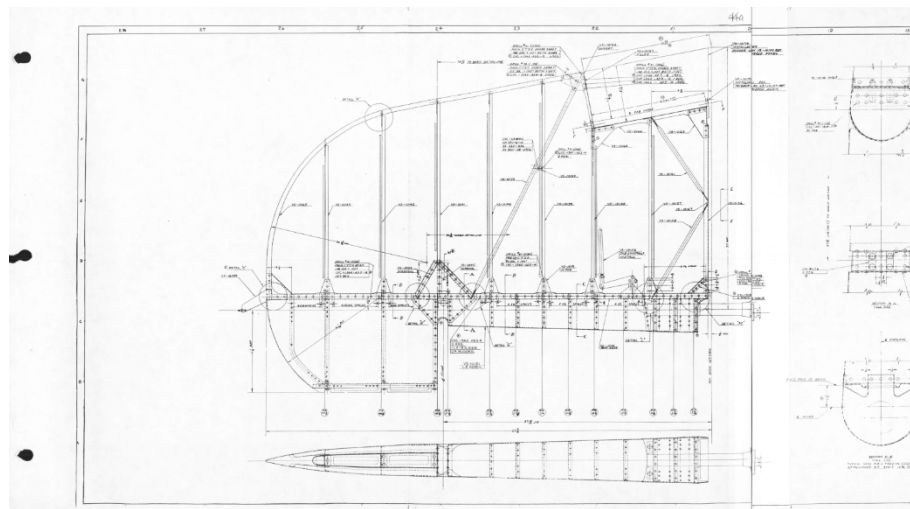
*Estructura del estabilizador vertical modelada*

### **9.6 Timón de dirección**

El timón de dirección de un avión es la superficie de control que es sustentada por el estabilizador vertical. Es, por tanto, la encargada de crear el momento sobre el eje vertical del avión, provocando así su giro. Normalmente, la

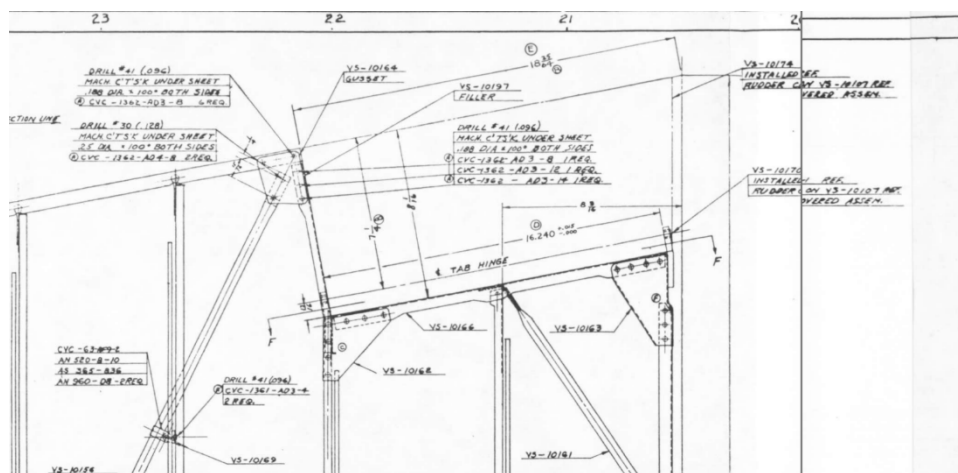
dirección del tren de aterrizaje trasero es solidaria a la dirección del timón vertical.

Usaremos el plano disponible del timón de dirección para modelarlo.



Plano timón de dirección

Una parte importante que también modelaremos en esta parte será el trim. Esta pequeña aleta es la encargada de corregir permanentemente el efecto del timón sobre la dinámica de vuelo, esto es, evitar que el piloto tenga que corregir constantemente las pequeñas desviaciones que esta superficie pudiese producir.



Plano del Trim del timón de dirección

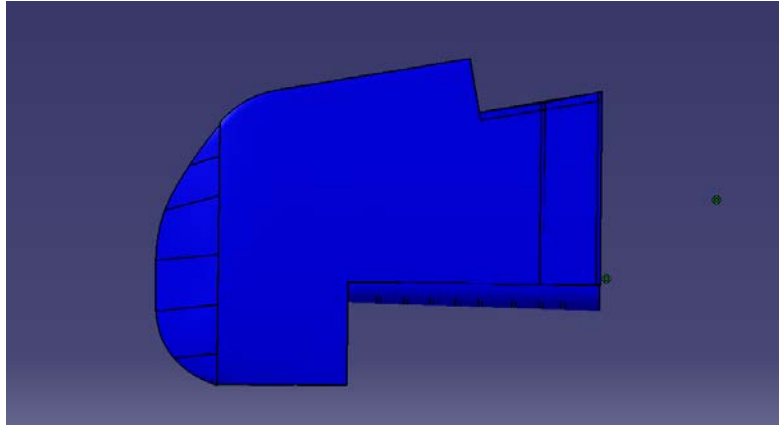
Por último también llevaremos a cabo el modelado de los sistemas de rotación del timón de dirección. Modelaremos el eje, bisagras y sistemas de unión eje-timón.

### 9.6.1 Cubierta del timón de dirección

Para el modelado del timón de dirección usaremos el mismo perfil que para su estabilizador. Es importante ya que ambas piezas deben quedar encajadas y

complementar perfectamente entre sí. Por tanto el timón llevará un perfil NACA 0012, introducido con el mismo procedimiento de macros vía excel. Una vez introducido el perfil y la guía, creamos la cubierta con la operación Multi-sections Surfaces, obteniendo una pieza de 1700 mm.

Una vez realizados los splits pertinentes para conseguir la forma del timón de profundidad le daremos un espesor de 2 mm a la superficie.

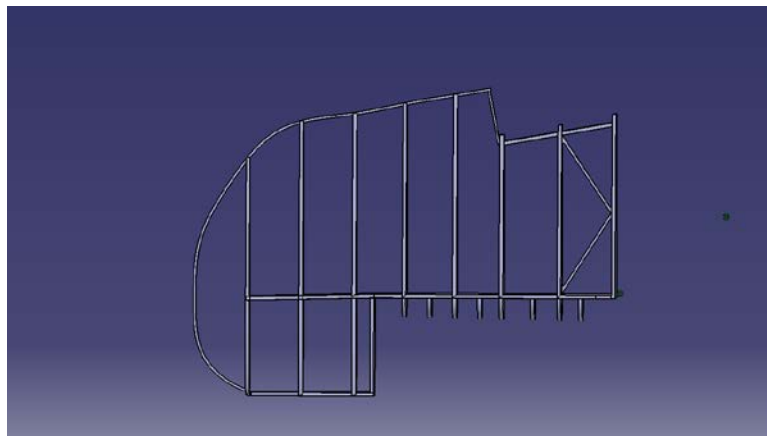


*Timón de dirección*

#### *9.6.2 Estructura del timón de dirección*

En el modelado de la estructura del timón de dirección modelaremos 9 costillas y dos largueros inferiores que quitarán a la estructura el comportamiento de mecanismo. También debemos modelar las piezas que serán las bisagras en el sistema de rotación de nuestro timón. El espesor de dichas costillas y bisagras será de 14,288 mm.

Por último modelaremos el larguero exterior que une cada extremo de la costilla entre sí. Este larguero tendrá unas dimensiones de 10 mm x 5 mm.

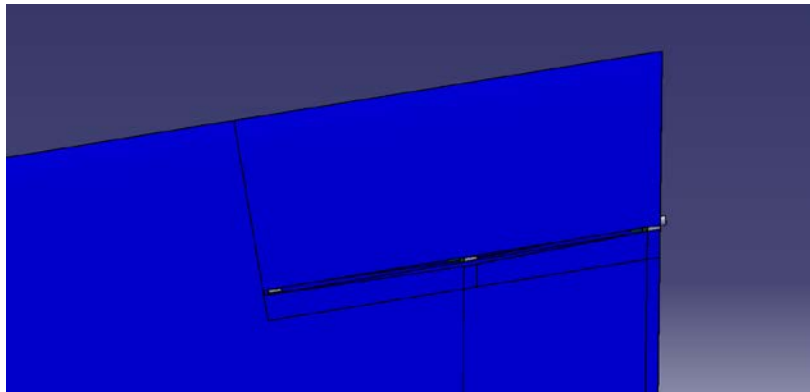


*Estructura timón de dirección*



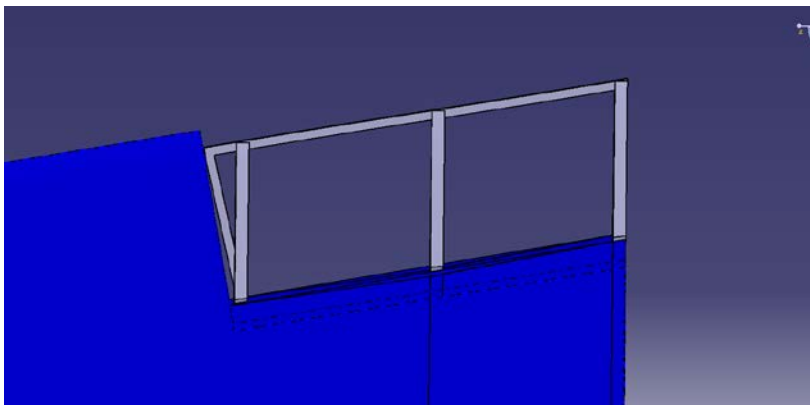
#### 9.6.4 Aleta timón

La aleta será modelada como una especie de pequeño alerón. Tendrá asociada una cubierta, una estructura y un sistema de rotación independiente al del timón de dirección. El modelado de tal aleta se asemeja en gran medida al del alerón. Usaremos una copia de la cubierta del timón de dirección, pero esta vez, usando el reverse side del split utilizado para crear el alojamiento de la aleta.

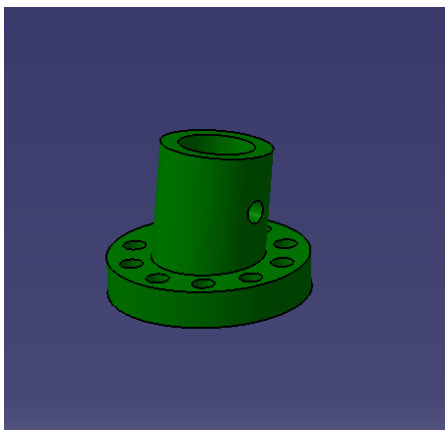


*Cubierta de la aleta modelada*

Para su estructura haremos lo mismo, usando el inverso en la operación de pocket usada en la estructura del timón.



*Estructura de la aleta modelada*



*Rosca modelada*

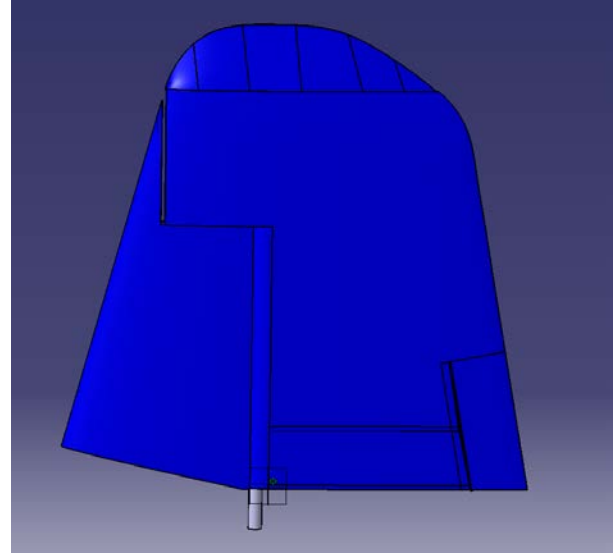
Tenemos que cuidar que las terminaciones sean redondeadas, ya que las usaremos como bisagras. Por último, modelamos el sistema de rotación, compuesto por un eje de 10 mm de diámetro y de longitud indeterminada, ya que dependerá del modelado del mecanismo que accione dicha superficie. También usaremos las piezas que solidaricen el eje con el movimiento de la aleta, adaptándola al diámetro del eje de rotación.



Una vez modelado todo el conjunto estabilizador vertical-timón de dirección, debemos comprobar que tanto el timón como su trim no colisionan con una rotación menor de  $25^\circ$ , exactamente igual que con los alerones y flaps.



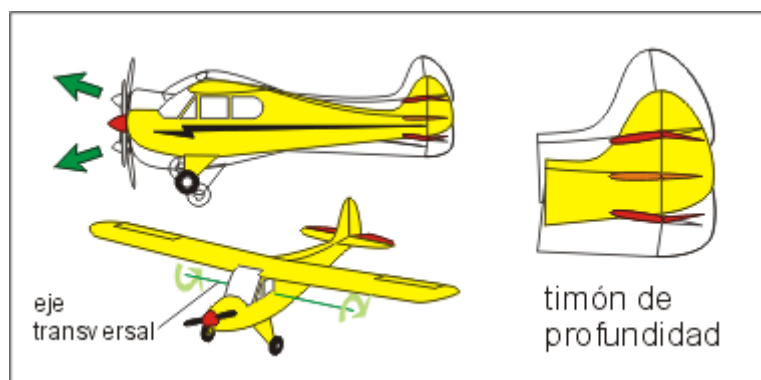
*Estructura estabilizador-timón de dirección modelada*



*Cubierta estabilizador-timón de dirección modelada*

## 9.7 Estabilizador horizontal

La estructura horizontal funciona de forma análoga al estabilizador vertical, soporta los timones de profundidad que provocan el empuje sobre esta superficie por el gradiente de presiones. Un empuje hacia arriba provoca el levantamiento de la cola, lo que hace inclinar hacia abajo el aeroplano dando lugar a su descenso.

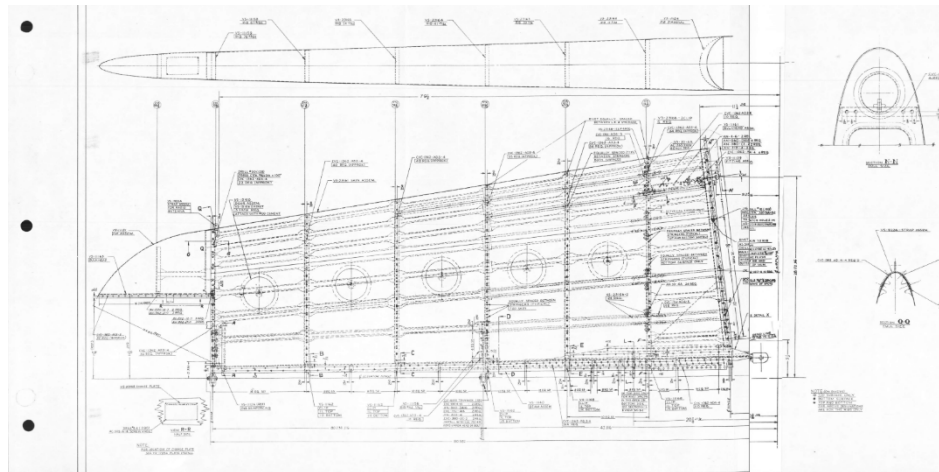


*Funcionamiento del timón de profundidad*

En esta sección, modelaremos la cubierta y estructura del estabilizador horizontal de un solo lado para luego completar el vecino con la operación mirror.

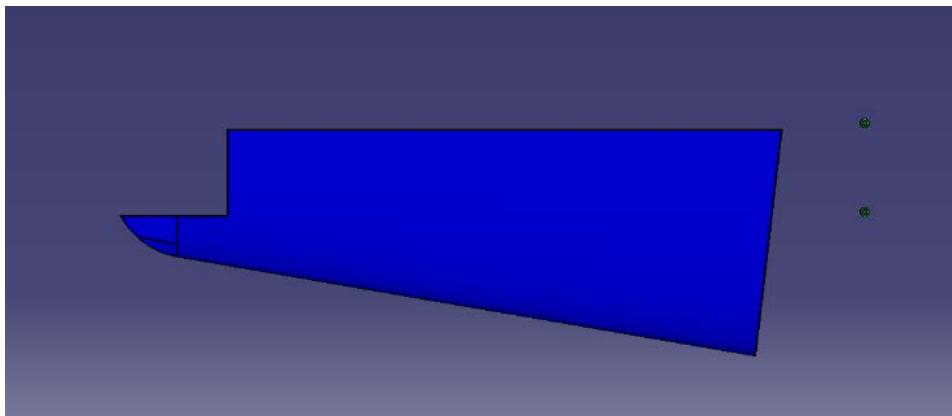
### 9.7.1 Cubierta del estabilizador horizontal

El modelado de la cubierta del estabilizador horizontal es similar al de la cubierta del estabilizador vertical. Usaremos un perfil simétrico NACA 0012 que introduciremos con la herramienta de macros. Para escalar sus dimensiones usaremos el siguiente plano.



*Plano estabilizador horizontal*

Este estabilizador tendrá una anchura máxima de 711 mm y longitud de 2132 mm. Una vez introducido el sketch con macros y creada la guía creamos la cubierta con Multi-sections Surface. Por último realizaremos los cortes pertinentes para adaptar la cubierta a la forma del timón de profundidad y a la cubierta del fuselaje. Será muy importante que el ángulo de corte sea el mismo que la conicidad de la piel del Corsair.

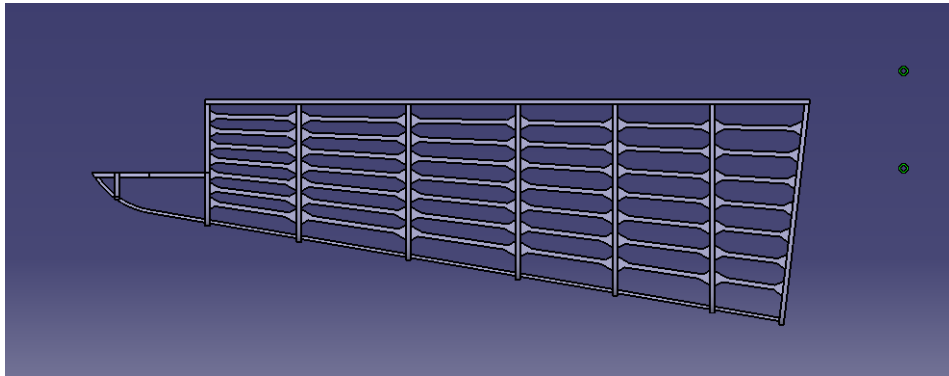


*Cubierta estabilizador horizontal modelada*

Una vez modelada, la cubierta tendrá un espesor de 2 mm, similar al resto de superficies de control pertenecientes a la cola.

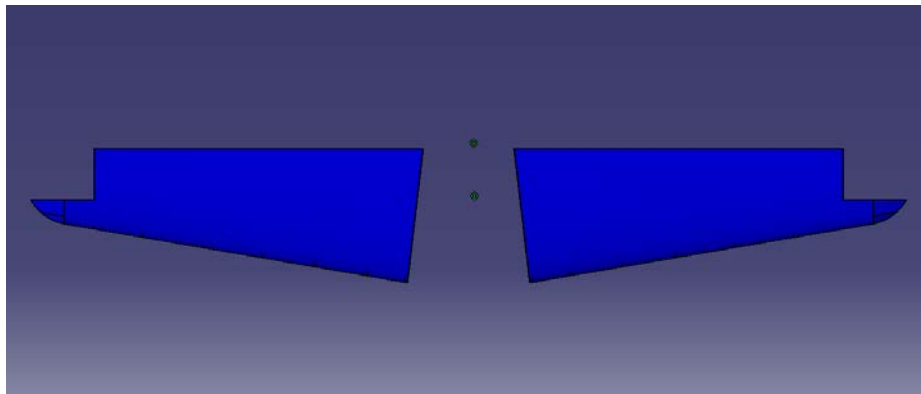
### 9.7.2 Estructura del estabilizador horizontal

El modelado de la estructura del estabilizador horizontal es similar al del estabilizador vertical. Tendremos en cuenta donde están situadas las costillas y refuerzos para extruirlos. Usaremos la intersección de planos con la cubierta, así nos aseguramos que ambos contornos coinciden.



*Estructura del estabilizador horizontal modelada*

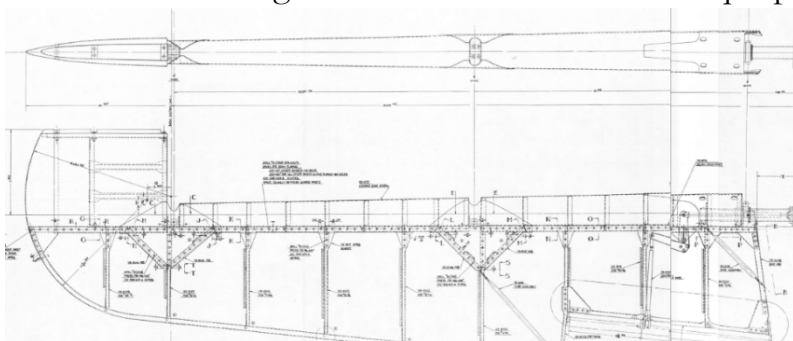
Por último, procedemos a hacer el mirror con respecto al plano situado en el eje de simetría del plano, así nos ahorramos el modelado de otra estructura.



*Estabilizadores horizontales modelados*

## 9.8 Timón de profundidad

El timón de profundidad es la superficie móvil de este conjunto. Es la encargada de modificar la longitud de las líneas de corriente que pasan por ambas caras de los estabilizadores. Para su modelado, seguiremos el siguiente plano.



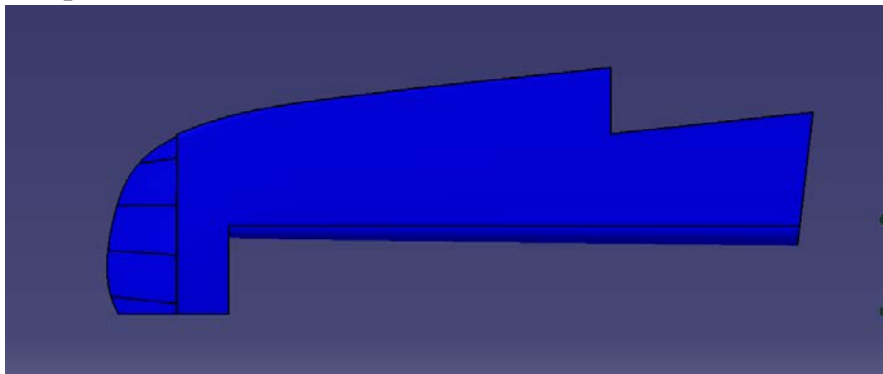
*Plano timón de profundidad*

En este proceso de modelado

tendremos que repetir piezas y sistemas ya modelados en el timón de dirección, como el sistema de rotación del timón y el trim, así como el sistema de rotación del último.

#### *9.8.1 Cubierta del timón de profundidad*

El modelado de la cubierta del timón de profundidad es un perfil NACA 0012, con una anchura máxima de 618 mm y longitud de 2174 mm. Usamos la operación de Multi-sections Surface y recortamos el contorno con Split para que esta pieza se acople perfectamente al estabilizador horizontal. También usamos la operación Blend, con la que cerramos el lado de las bisagras. Le damos un espesor de 2 mm a la cubierta.

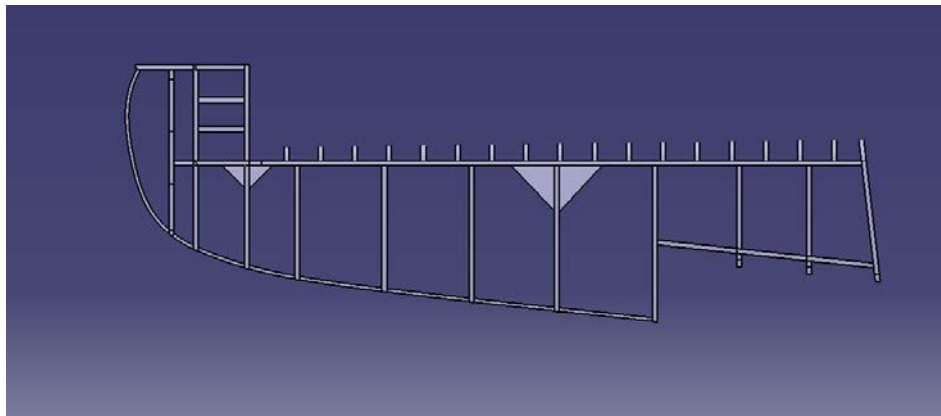


*Cubierta del timón de profundidad*

#### *9.8.2 Estructura del timón de profundidad*

Para el modelado de la estructura del timón de profundidad se sigue el mismo procedimiento que en el timón de dirección, colocando planos paralelos según tenemos en el plano dibujado y obteniendo los sketches de las costillas con las intersecciones de dichos planos con la cubierta.

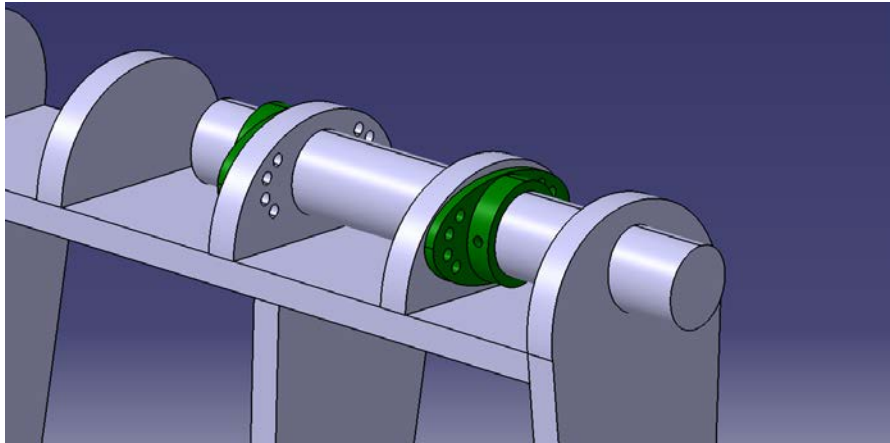
También añadimos unas cartelas en la estructura para aportarle una mayor rigidez, algo que se puede intuir en los planos.



*Estructura del timón de profundidad*

### *9.8.3 Sistema de rotación del timón de profundidad*

Al igual que en el resto de superficies de control, el timón de profundidad debe tener un eje que actúa sobre la superficie. Este eje de 40 mm de diámetro gira solidariamente con el timón gracias a dos abrazaderas similares a las usadas en el anterior timón y alerones, pero adaptada al espacio de que nos permite la bisagra del timón de profundidad. Esta pieza tendrá 8 taladros y un último taladro donde colocaremos una chaveta.

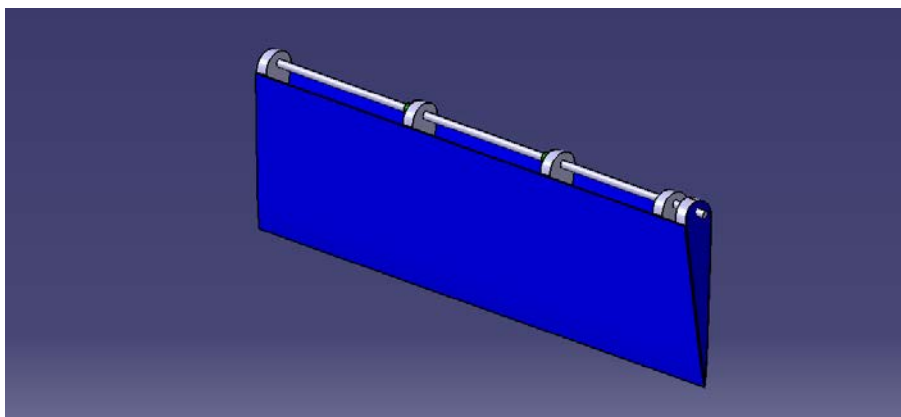


*Sistema de rotación*

La longitud de este eje dependerá del mecanismo que se modele en futuros proyectos, pero que en este caso, no es objeto de nuestro trabajo fin de grado.

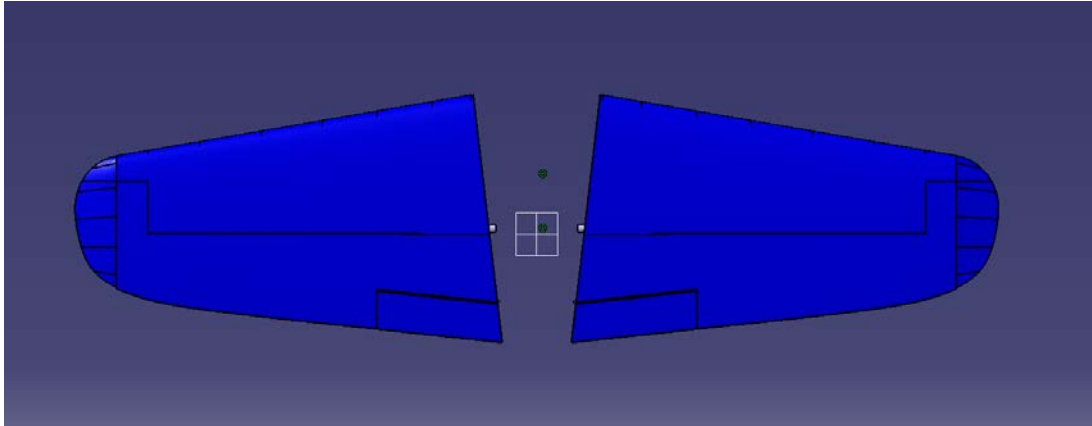
### *9.8.4 Aleta del elevador*

La aleta o trim del elevador tiene la misma función que el trim del timón de dirección. La diferencia aquí es que contamos con uno a cada lado, es decir, uno por cada elevador. Para su modelado procedemos de la misma manera, usando la inversa del split del alojamiento creado en la cubierta del elevador. Para la estructura, repetimos el mismo proceso con la inversa del Pocket. Por último, creamos el sistema de rotación con un eje de 10 mm de diámetro y dos abrazaderas solidarizadoras.

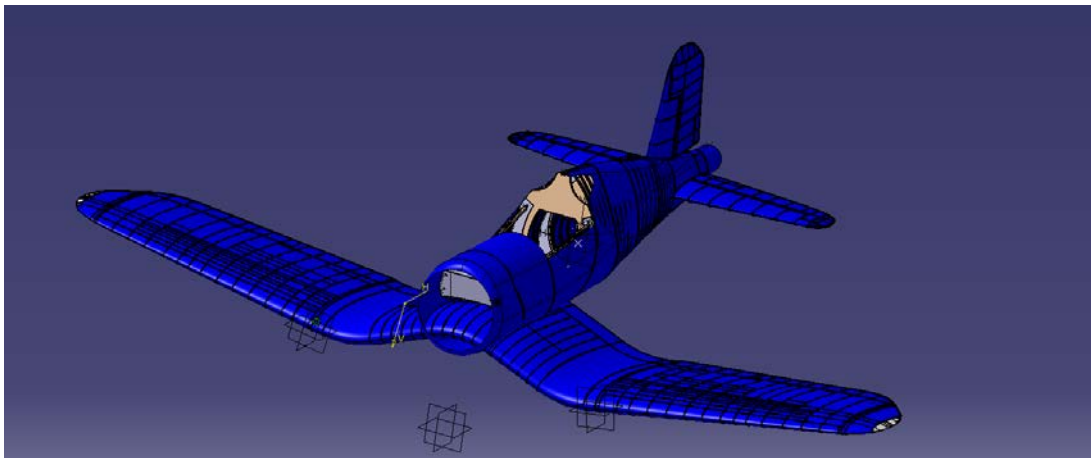


*Aleta modelada*

Una vez que le demos el espesor de 2 mm a la cubierta de la aleta procedemos a hacer el mirror de estas últimas piezas que hemos modelado, de esta forma que tendremos completado el conjunto estabilizador-elevador.



*Estabilizador horizontal y timón de profundidad modelados*



*Vought Corsair modelado con fuselaje-cubierta-superficies de control*

## **10. TREN DE ATERRIZAJE**

El tren de aterrizaje es una parte fundamental en todos los aviones. En sus inicios fueron simples apoyos rodados pero con el tiempo tuvieron que modernizarse y hacerse mecanismos más complejos. Estos mecanismos avanzaron a mecanismos retráctiles, basados en mecanismos cuatro barras que conseguían recluir los neumáticos en sendos alojamientos en las alas y fuselaje. La resistencia aerodinámica que provoca un cuerpo romo de este tipo a altas velocidades es similar a la que tiene lugar en toda un ala, por lo que no pasó mucho tiempo hasta que se modernizó dicho sistema para convertirse en un tren de aterrizaje retráctil.



$$C_{romo} \sim \frac{1}{2} \rho U_{\infty} L W, C_{fuselado} \sim \frac{\mu U_{\infty}^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{\nu C}}$$

Si relacionamos ambas expresiones podemos saber la diferencia de órdenes de magnitud entre ambas resistencias aerodinámicas.

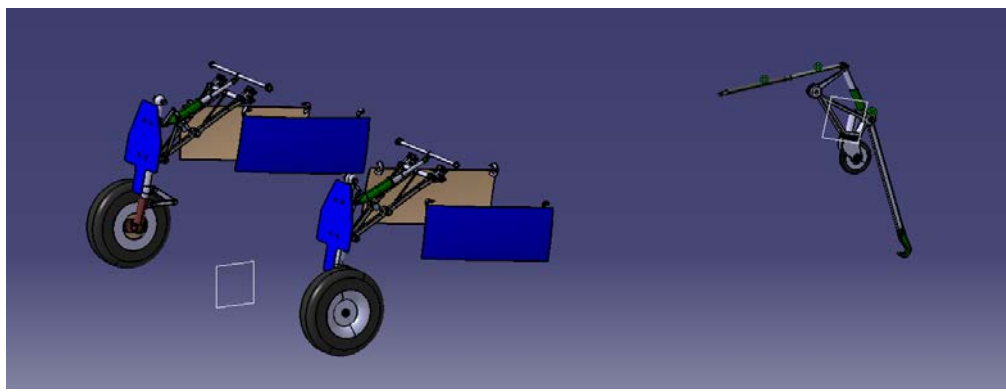
$$\frac{C_{romo}}{C_{fuselado}} \sim \frac{L \sqrt{Re_c}}{C}, \text{ si } Re_c = 10^6 \rightarrow L \sim \frac{C}{10^3}$$

Lo que significa que un cuerpo romo de 1 mm de diámetro tiene aproximadamente la misma resistencia aerodinámica que un ala con una cuerda de 1 m.



Podemos distinguir dos tipos de trenes de aterrizaje, según donde situemos el tercer tren, que suele estar o en la parte del morro o en la cola.

En el caso que nos ocupa, nos encontramos con un Vought Corsair F4U, cual tiene un tren de aterrizaje retráctil compuesto por dos trenes principales en las alas y otro tren en la cola.



Tren de aterrizaje modelado

Esta configuración es muy común en los aviones de combate de esta época, ya que el grupo motor ocupaba todo el espacio útil del morro, lo que dificultaba la colocación de una rueda delantera.

Actualmente, tanto los aviones de guerra como los aviones comerciales llevan la configuración de trenes retráctiles tanto en la rueda delantera como en los principales en las alas y fuselaje. Esto es debido a que el grupo motor se desplaza a las alas en los aviones comerciales y al costado del fuselaje en algunos aviones de combate, dejando espacio en el morro para alojar un tren retráctil.

Una última pieza que se modelará será un gancho solidario al tren trasero que ayuda a frenar el aterrizaje del avión. Este sistema es muy utilizado e indispensable en el aterrizaje de estos aviones en portaaviones, ya que estos tienen una pista de aterrizaje limitada. Para el modelado de todo el mecanismo retráctil, neumáticos y compuertas disponemos de bastante información de cada pieza.



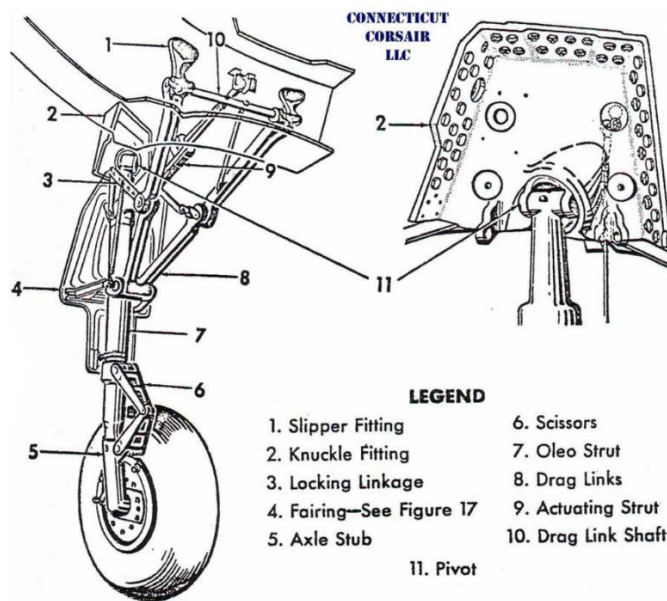
*J-15 desplegando el gancho durante un aterrizaje en un portaavión*

Tras un largo modelado llegaremos a este resultado.

### **10.1 Tren de aterrizaje delantero**

El tren de aterrizaje delantero está situado en dos alojamientos de ambos extremos de la panza de nuestro avión. Ambos trenes estarán separados entre sí unos 12' 1", es decir, 3683 mm. En primer lugar modelaremos un tren para a continuación hacer el mirror de todo el conjunto.

Este tren está compuesto por varios subconjuntos: Conjunto neumático-suspensión, mecanismo de arrastre y compuertas tren delantero. A su vez, cada uno de estos conjuntos está compuesto por decenas de piezas y tornillos que modelaremos a continuación a la vez que se explica su función.



Nos guiaremos por este diagrama para conocer aproximadamente la posición y orientación de cada pieza, ya que aunque tenemos información de cada parte, no sabemos nada sobre el conjunto.

Diagrama del tren de aterrizaje delantero

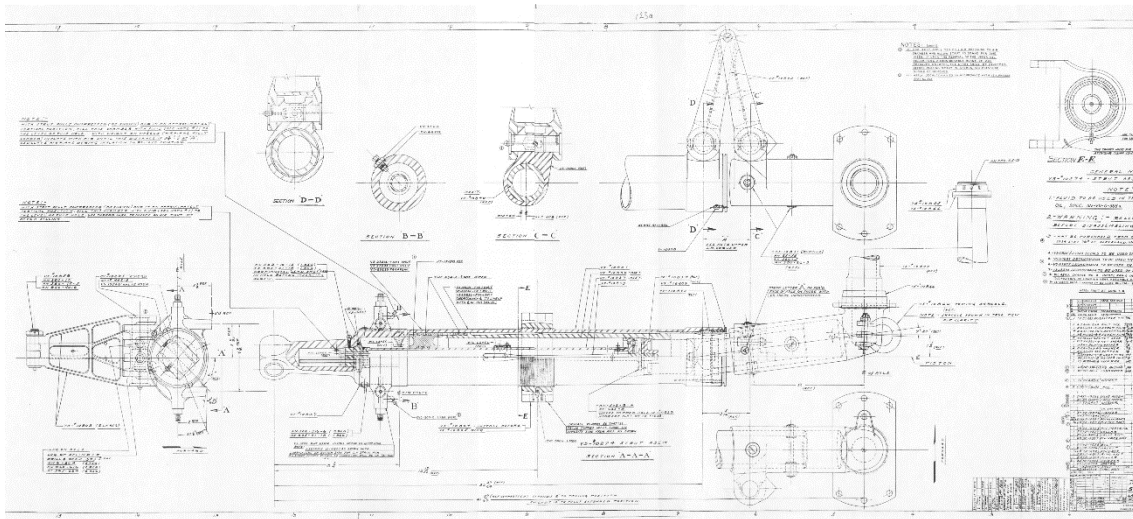
#### 10.1.1 Conjunto neumático-suspensión

Esta parte del tren de aterrizaje es la encargada de absorber el impacto en el aterrizaje. Esta compuesta principalmente por 15 piezas que forman el eje, llanta, neumático y la suspensión neumática del Vought Corsair. Esta es la lista de piezas que vamos a modelar:

1.	Camisa	9.	Llanta
2.	Pistón	10.	Pasador
3.	Retén	11.	Disco de freno
4.	Sellador roscado	12.	Tijeras
5.	Junta	13.	Abrazadera roscada
6.	Eje	14.	Abrazadera con tornillos
7.	Tuerca	15.	Eje rótula
8.	Neumático		

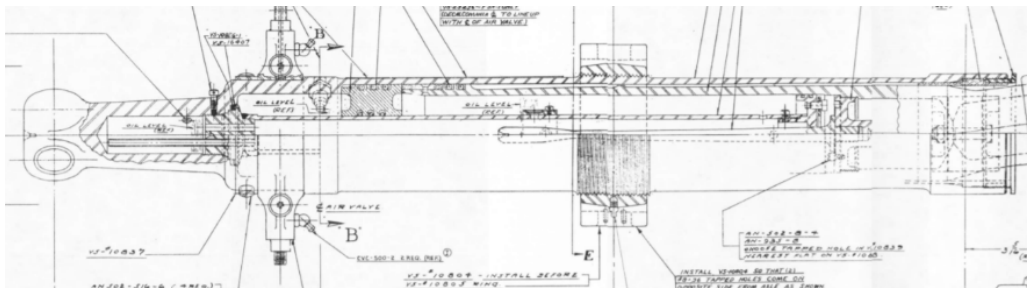
Listado de piezas conjunto neumático-suspensión

En el modelado del conjunto de suspensión usaremos un plano en el que aparecen bastante detalladas varias de las piezas de este apartado.



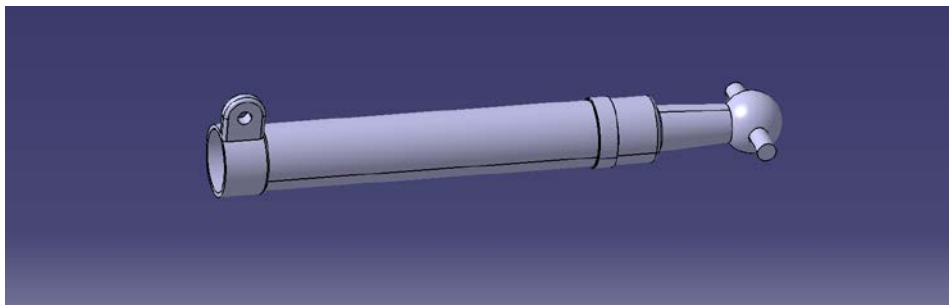
*Plano de la suspensión neumática*

En el caso de la camisa de la suspensión partimos del plano anterior, pero solo de la parte central.



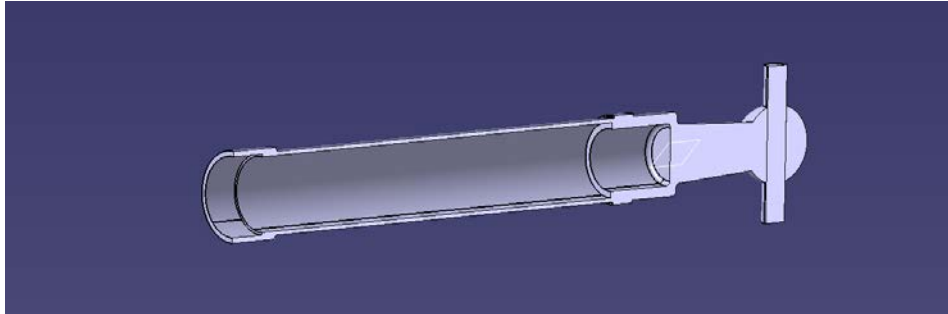
*Plano de la camisa de la suspensión*

Esta parte de la suspensión es aquella que encierra el gas y el pistón que ejercerá la presión y amortiguará el impacto. Se trata de una camisa de 93 mm de diámetro y una longitud de 633 mm. Dicha camisa tiene un espesor de 4,5 mm, una oreja inferior donde irá unida una barra de la tijera y una rótula superior que conectará el conjunto de la suspensión con el fuselaje. Esta rótula se una esfera de 86 mm de diámetro con un taladro de 27 mm de diámetro. A través de este taladro habrá un eje pasante de 174 mm que permitirá rotar dicho mecanismo par alojarse en la panza.



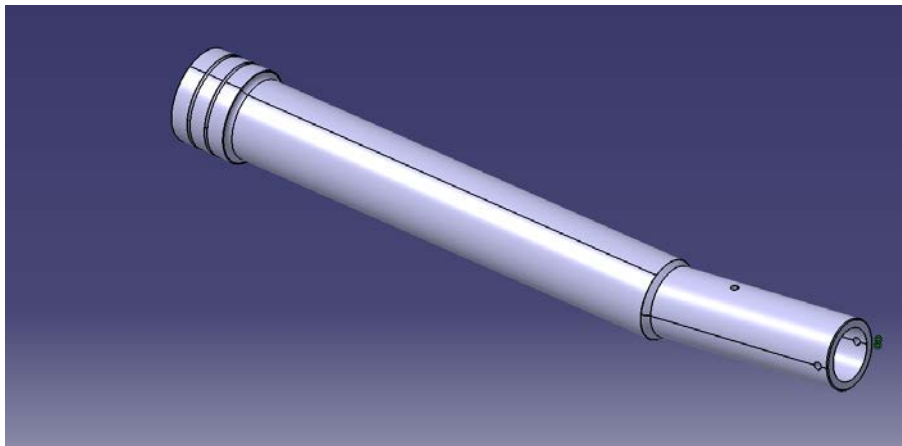
*Camisa modelada*

Muy importante será detallar que el interior de la camisa no es totalmente liso, tiene escalones que ejercerán como topes del pistón y retenes que irán colocados en su interior. Para el modelado de piezas huecas y cilíndricas usamos una nueva función, Shaft, que crea sólidos con un sketch, un eje de rotación y el ángulo rotado, que en este caso son 360°.



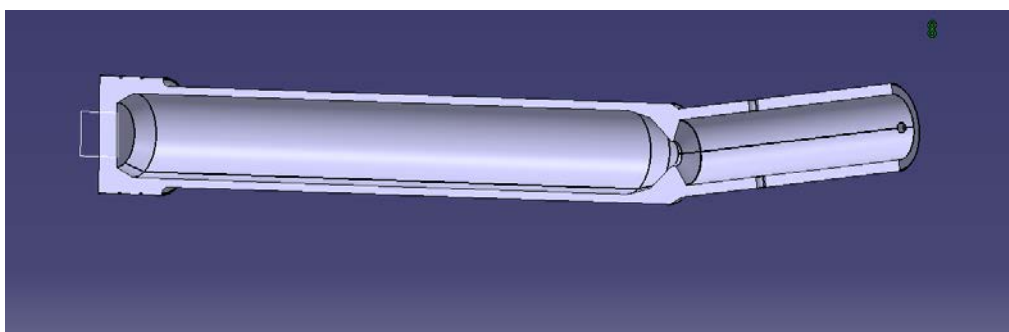
*Sección de la camisa modelada*

El pistón de la suspensión es un cilindro de 72 mm de diámetro siendo uno de los extremos inclinados, ya que será aquí donde se ensamble el eje donde irá la llanta y el neumático. En el otro extremo encontramos un pistón fraccionado que mejorará el funcionamiento de nuestra suspensión, permitiendo al gas pasar.



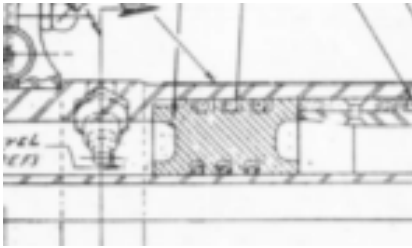
*Pistón modelado*

Como ocurría en la camisa, la mayor parte se modelará con un shaft, ya que el interior del pistón es hueco para aligerar peso.

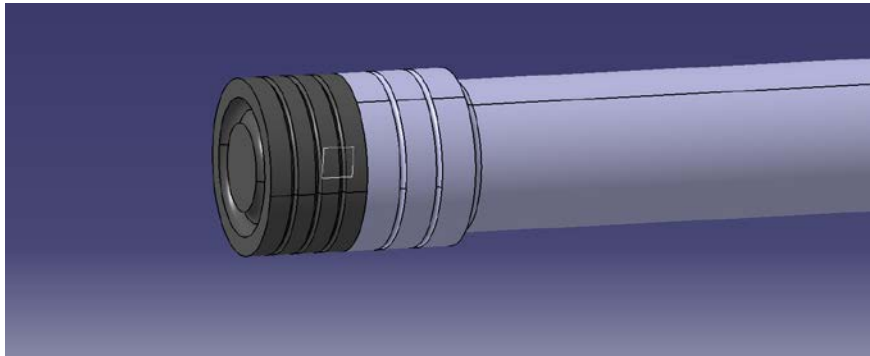


*Sección del pistón modelado*

Como se percibe en el plano, existe una pieza que actúa como retén en el lado interior de la camisa y el pistón.

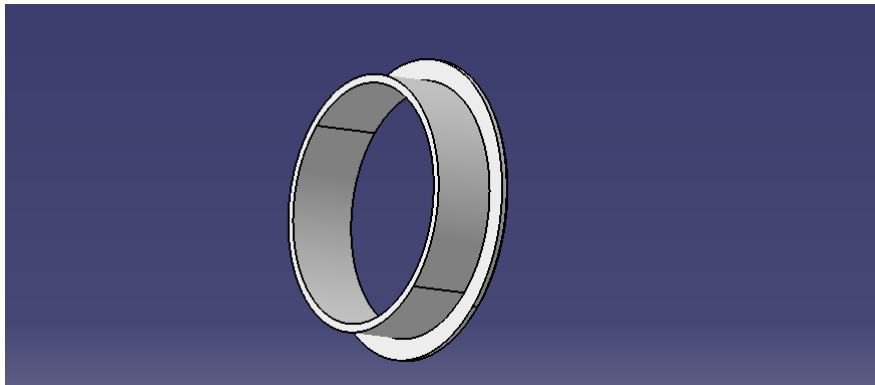


Por ello, modelaremos una especie de cilindro escalonado de 72 mm de diámetro y 48 mm de altura que actuará como retén sellador. Para su modelado, haremos un pad cilíndrico y luego los pertinentes vaciados.

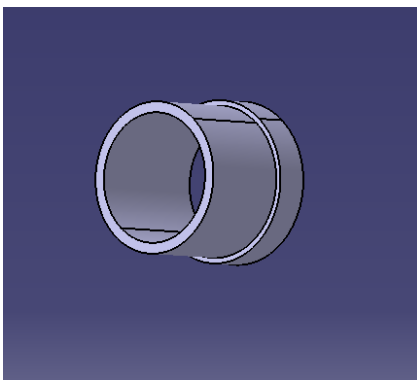


*Retén modelado*

A continuación necesitamos modelar una pieza en el otro extremo que selle la camisa por el lado en el que se introduce el pistón. Este debe ser un sellador roscado de M 90 y espesor de 3 mm.



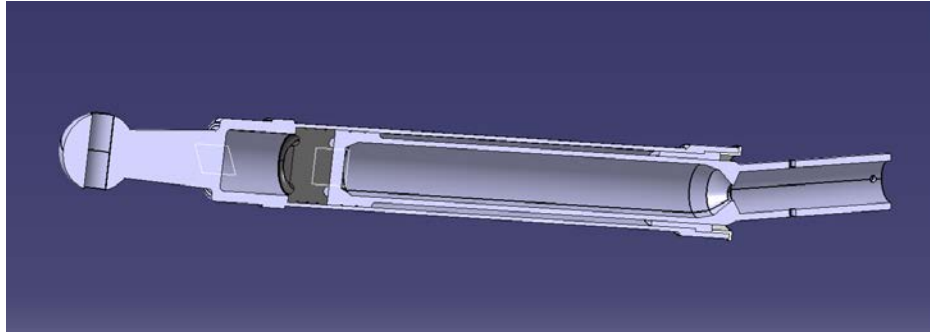
*Sellador roscado modelado*



*Junta modelada*

Justo antes de este sellador, hay que colocar una junta que cierre el espacio existente entre el sellador y el escalón de la camisa situado en el extremo exterior. Será una junta o cojinete de dos diámetros y dos alturas, 45 mm y 42 mm de diámetros y 19,72 mm y 54,428 mm de altura, respectivamente.

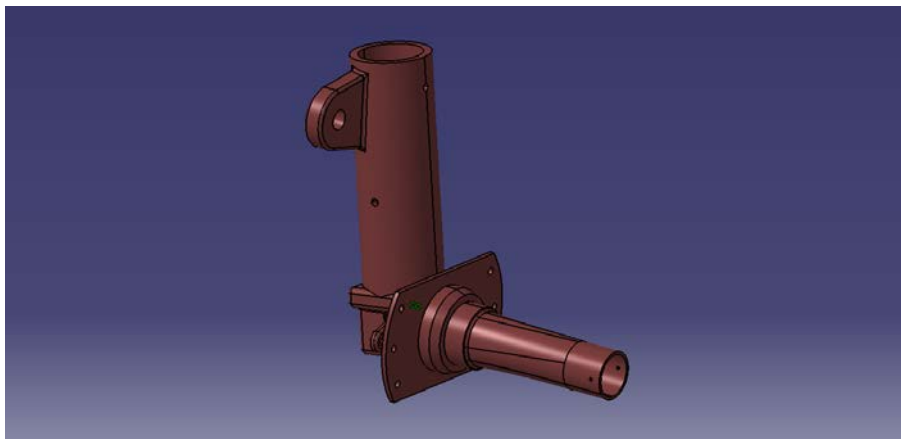




*Sección de la suspensión modelada*

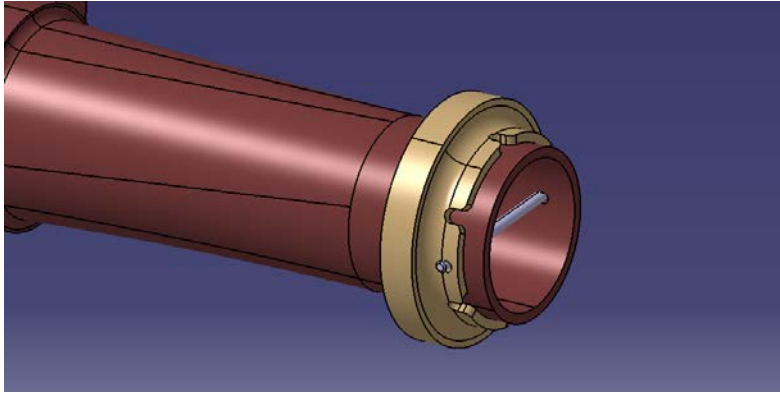
A continuación, crearemos una pieza complicada, el eje, donde irán colocados la llanta, sistema de frenado y la biela a la que llamamos tijeras. Este eje tiene dos partes predominantes, una cilíndrica de 80 mm de diámetro donde va alojado el extremo oblicuo del pistón y otra cónica donde iría un rodamiento en el que fijar la llanta. Esta parte cónica tiene diámetros de 60 mm y 46 mm y una longitud de 154 mm. Esta parte cónica invita a pensar que el rodamiento es fijado fácilmente mediante presión, mismo sistema que en las brocas de grandes diámetros en las taladradoras fijas.

También, se ha creado una parte taladrada con 7,422 mm de diámetro donde iría el sistema de frenado cuyo modelado no es objeto de este proyecto. Es importante decir que esta pieza es hueca, teniendo un espesor de 8 mm. Es razonable que el espesor sea considerable teniendo en cuenta los esfuerzos de flexión que soporta el eje.



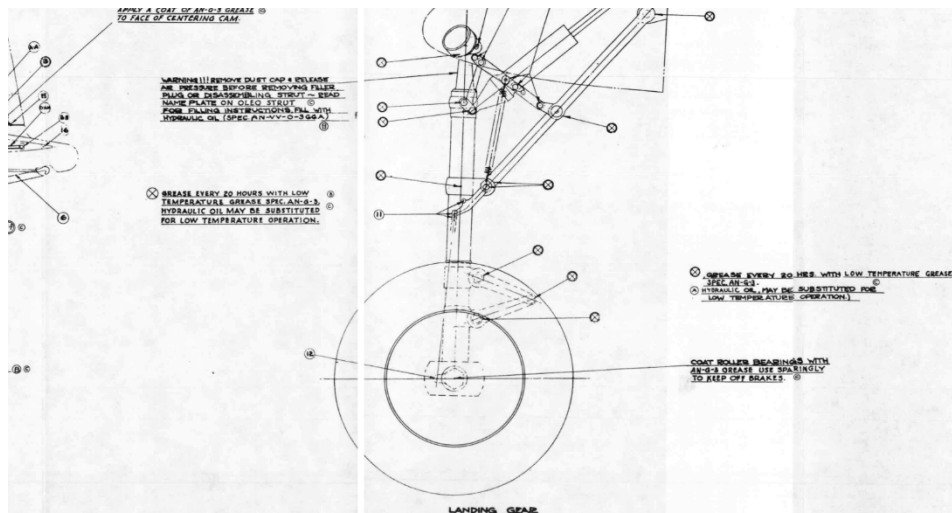
*Eje modelado*

Para evitar que la rueda pueda ser desprendida al exterior durante su funcionamiento, se ha diseñado una tuerca que iría roscada al extremo exterior del eje y fijada a demás con una chaveta o pasador de 3 mm de diámetro y 56 mm de longitud.



*Tuerca modelada*

Para el modelado del neumático tenemos que un plano en el que podemos obtener, escalando, perfectamente las medidas. Es un dato relevante que no se ha conseguido obtener mediante investigación.



*Plano perfil tren delantero*

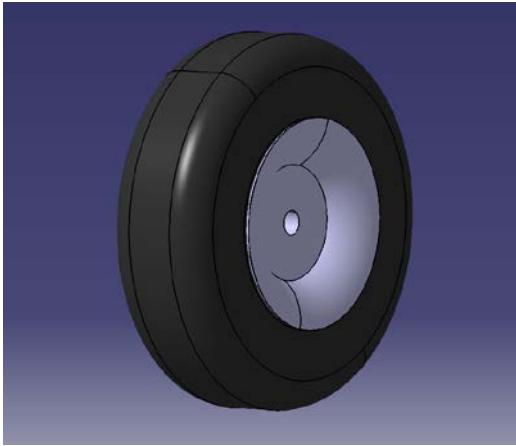
De esta imagen, obtenemos un neumático de diámetros 726,15 mm x 291,33 mm y una anchura de 217,845 mm. El modelado del neumático será con la herramienta Shaft, a la que le daremos el perfil descrito anteriormente.



*Neumático modelado*

En el modelado de la llanta, usaremos como base el interior del neumático y el diámetro exterior del eje, aunque recalco que debería existir un rodamiento entre este eje y la llanta. Redondeamos las aristas cercanas al neumático con la operación edge fillet.

La llanta no es simétrica ya que por el lado interior esta debe estar diseñada para la actuación del freno, un freno de sistema similar al de tambor pero de funcionamiento axial.

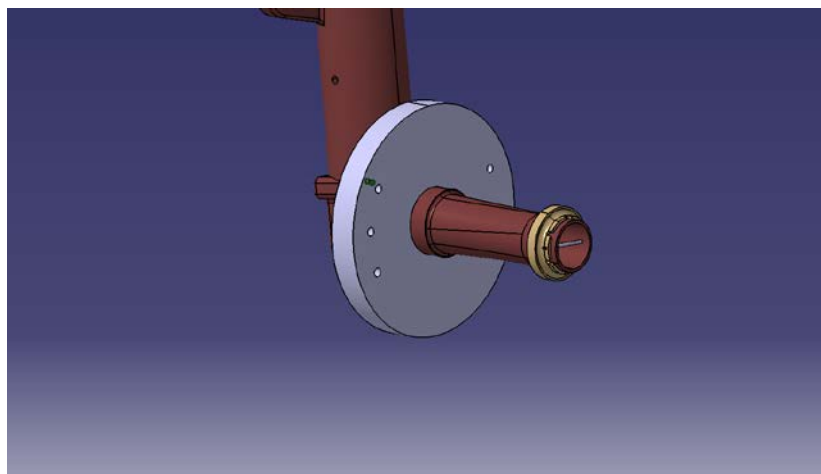


*Lado exterior de la llanta*



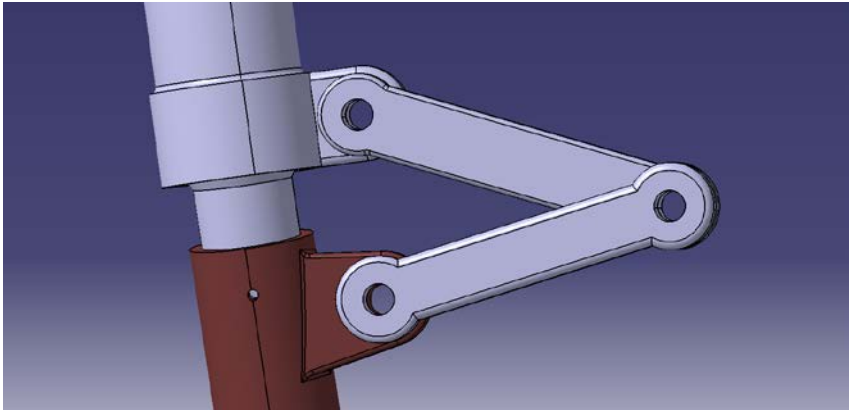
*Lado interior de la llanta*

Después, modelamos un disco de freno conveccional, del que tampoco tenemos nada de información, pero del cual intuimos su presencia, tanto por el alojamiento, como por piezas que se distinguen en los planos anteriores. Además, es vital la existencia de dicho sistema así como de esta pieza. Será un disco de 212 mm de diámetro y 40 mm de espesor. Es probable que el material la parte del disco en contacto con la llanta sea de amianto o un material similar, teniendo en cuenta que en la época en la que estábamos no se conocían materiales cerámicos con funciones ingenieriles.



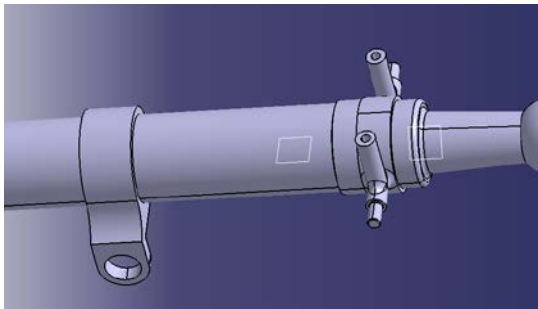
*Disco de freno modelado*

Las piezas que llamamos tijeras no son más que dos eslabones que se encargan de unir el eje con la camisa de la suspensión. Se encargan de impedir el giro del eje sobre el eje longitudinal de la camisa. Estas piezas se distinguen claramente en los planos anteriores.



*Eslabones modelados*

Por último, hay que modelar las abrazaderas que unen el mecanismo de arrastre o mecanismo retráctil con el conjunto que estamos modelando. No son más que una abrazadera roscada con dos orejas y otra que sendos alojamientos para tornillos. Ésta última es la encargada de unir las protecciones del tren a la suspensión. Estas protecciones, que serán modeladas más adelante, también formarán parte de las compuertas del tren delantero.

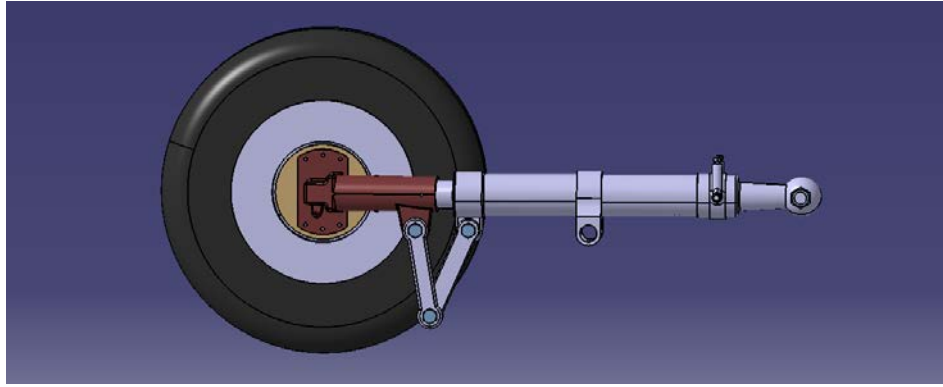


*Abrazaderas modeladas*

Con estas piezas ya tenemos modelado todo el conjunto neumático-suspensión, a falta de colocarle los tornillos necesarios. En este conjunto encontramos tornillería de las siguientes dimensiones.

ISO 8734 PIN 8x30 STEEL	6 UNIDADES
ISO 8734 PIN 8x80 STEEL	2 UNIDADES
ISO 4017 SCREW M20x50 STEEL	3 UNIDADES
ISO 8675 NUT M20x2 STEEL	3 UNIDADES
ISO 4016 BOLT M10x70 STEEL	2 UNIDADES
ISO 4032 NUT M27 STEEL	2 UNIDADES

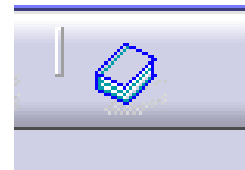
*Tornillería usada en este conjunto*



*Conjunto neumático-suspensión modelado*

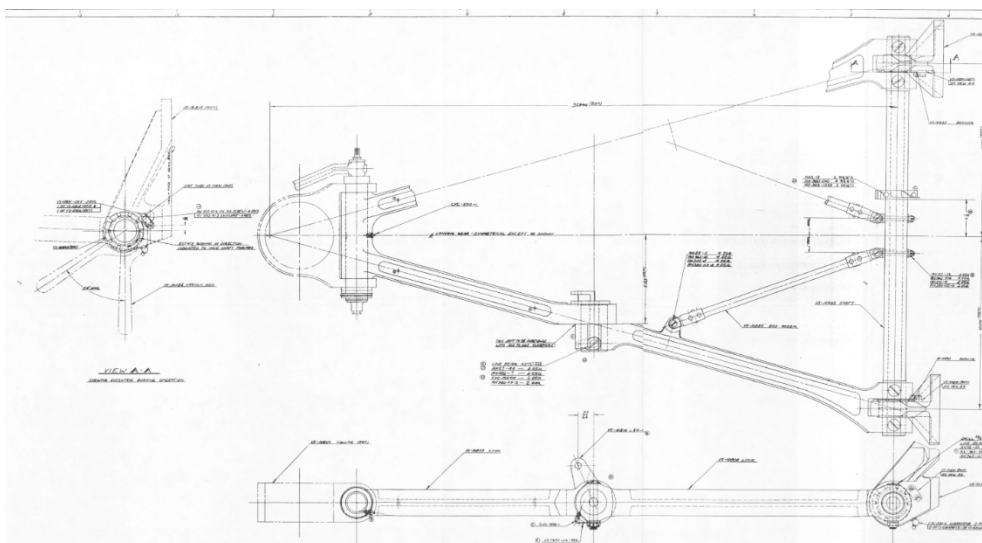
### 10.1.2 Mecanismo de arrastre

El mecanismo de arrastre es el encargado de la funcionalidad retráctil del tren de aterrizaje delantero. Se trata de un conjunto de barras y orquillas que, accionados por un pistón hidráulico, provoca el giro de neumático y suspensión sobre el alojamiento modelado en la panza del Corsair. Además de su modelado íntegro, también se modelarán los ejes donde se acopla cada parte del tren de aterrizaje en el ala del avión. Como se hizo en la parte anterior, se colocarán todos los tornillos y roscas necesarios para sustentar y asegurar la funcionalidad del conjunto. EL número de tornillos, tipo y dimensiones han sido supuestos en base al modelado final del tren de aterrizaje ya que no disponíamos de ninguna lista o referencia al respecto. Estas piezas de unión han sido tomadas del catálogo que Catia contiene.



*Símbolo de Catalogo en Catia*

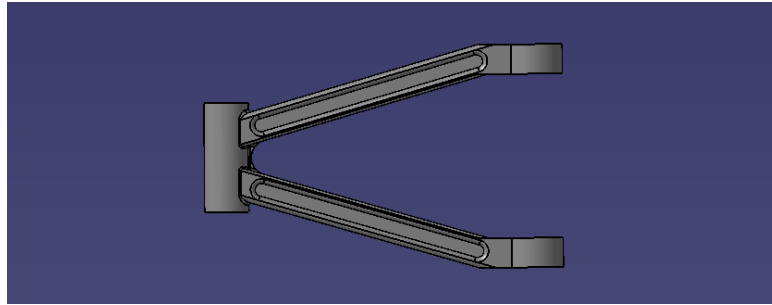
Para el modelado de este mecanismo partimos del siguiente plano.



*Plano mecanismo retráctil*

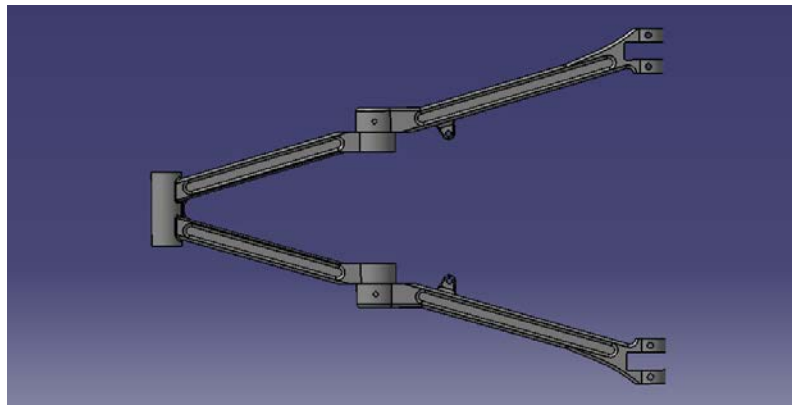
Desde este plano podemos obtener información para distintas piezas: enlace inferior, enlace superior, eje superior, bisagras superiores, tensores y brida tensor.

El enlace inferior es la parte que une el mecanismo con la suspensión. Se modelará con la operación Pad para luego ejecutar las operaciones de acabado. El diámetro del eje que une con el enlace superior es de 40 mm de diámetro.



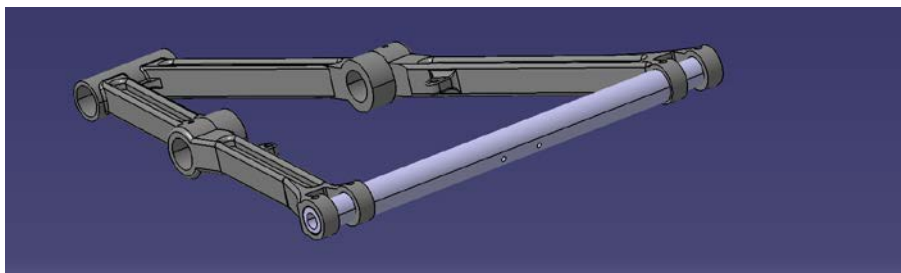
*Enlace inferior modelado*

Para la parte superior de este mecanismo seguimos el mismo proceso de modelado fijándonos en el mismo plano anterior. Será importante modelar algún taladro adicional que servirán a futuros tornillos que fijarán en mayor medida ejes de sujeción. Además, crearemos unas orejas donde se ensamblarán eslabones.



*Enlace inferior y superior modelados*

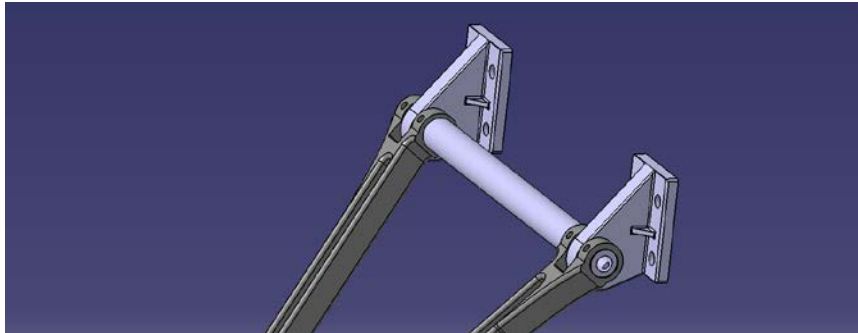
A continuación, modelamos el eje sobre el que rotará el enlace superior. Éste será un cilindro hueco de 40 mm de diámetro exterior, 10 mm de espesor y 581 mm de longitud. Taladramos este eje con los mismos taladros que la parte superior del último enlace.



*Eje superior modelado*

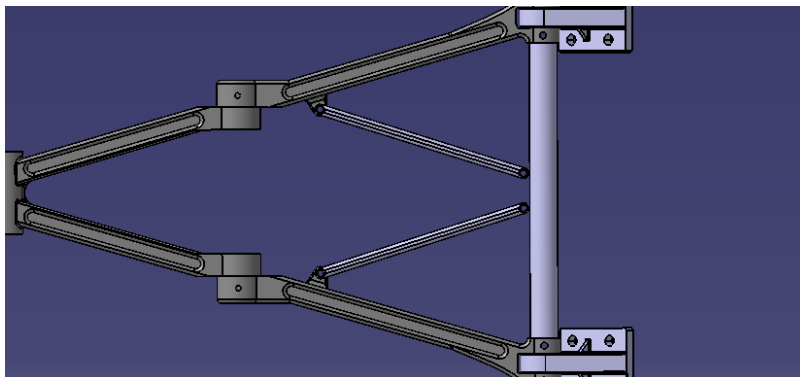


Después, creamos unas bisagras que irán unidas a la viga de torsión de la panza. Las bisagras soportarán el eje que acabamos de modelar. Todas estas piezas son creadas fundamentalmente con la operación Pad y Pocket, cuyas medidas han sido tomadas de los planos anteriores. Para dar más rigidez y evitar posibles entallas, creamos dos nervios a cada lado de cada bisagra y redondeamos las uniones de cada placa.



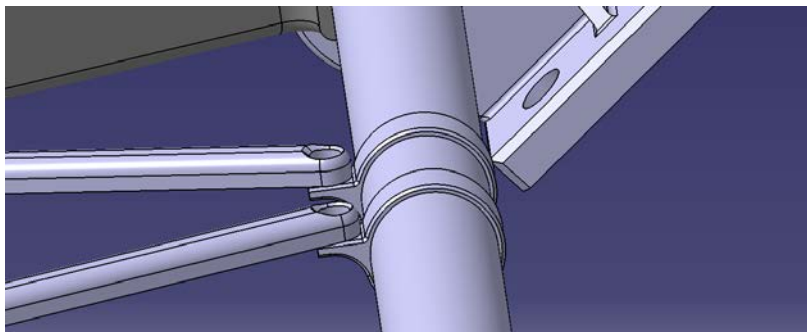
*Bisagras superiores modeladas*

Luego, crearemos un conjunto de piezas que harán la función de tensores. Su función no será dinámica, sino crear mayor rigidez y estabilidad a las piezas fundamentales. Estos tensores van unidos al enlace superior por unas orejas y al eje superior por unas bridas mediante tornillos.



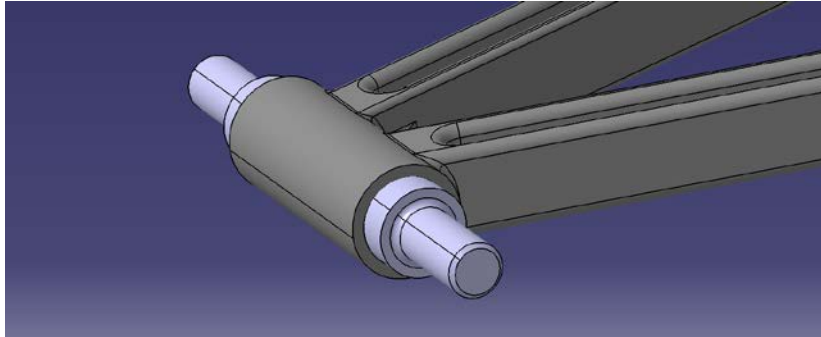
*Eslabones modelados*

Las bridas superiores no son más que unas arandelas más gruesas que rodean el eje y que soportan unas orejas taladradas.



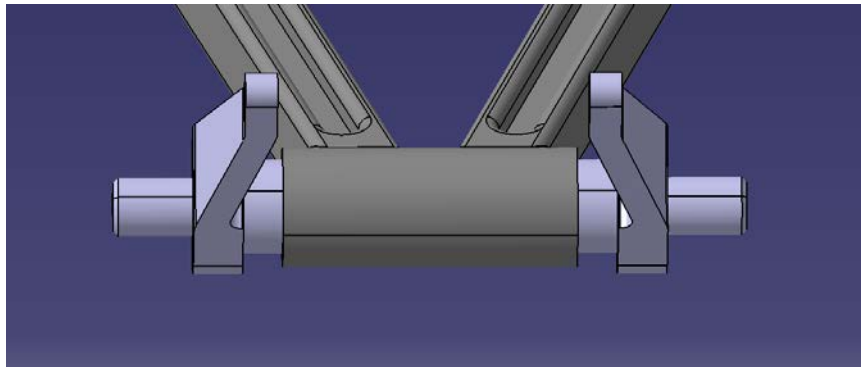
*Bridas de los tensores*

En el otro lado del mecanismo, modelamos el eje que soporta el giro del enlace inferior sobre la suspensión, lo que provocará el empuje del conjunto suspensión hacia su alojamiento en la panza. Serán diámetros de 24 mm y 40 mm y una longitud de 261 mm, los extremos están roscados a M24 x 50 mm



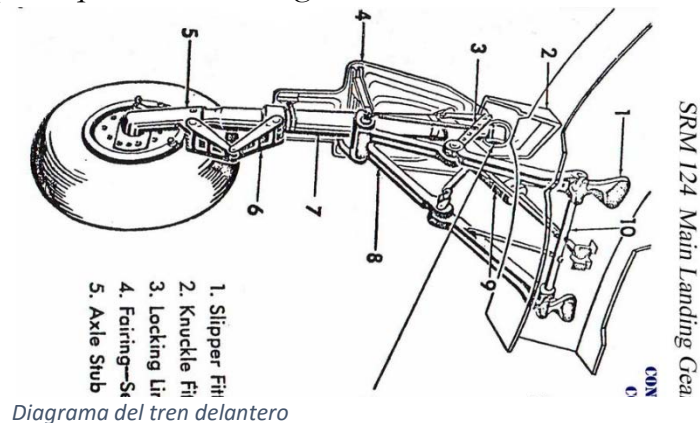
*Espárrago roscado modelados*

Dentro de esos dos extremos salientes, colocamos unas cogidas que nos ayudarán a soportar el protector delantero de nuestro tren de aterrizaje delantero. Estas dos piezas son invención propia, teniendo en cuenta que dicha pieza tiene que ser soportada por alguna parte.



*Cogidas protector modelados*

De la siguiente imagen hemos tomado bastante referencias para el modelado de algunas peizas de las que no disponemos ninguna información, no si quiera de su existencia, pero que con total seguridad deben existir.

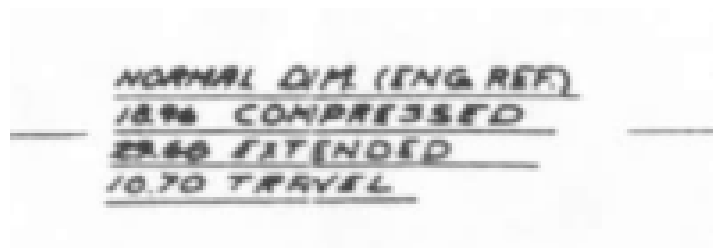


*Diagrama del tren delantero*

NORMAL DIM (ENGLISH)  
 1/8" COMPRESSED  
 DIMS FITTED  
 0.001 TYPICAL

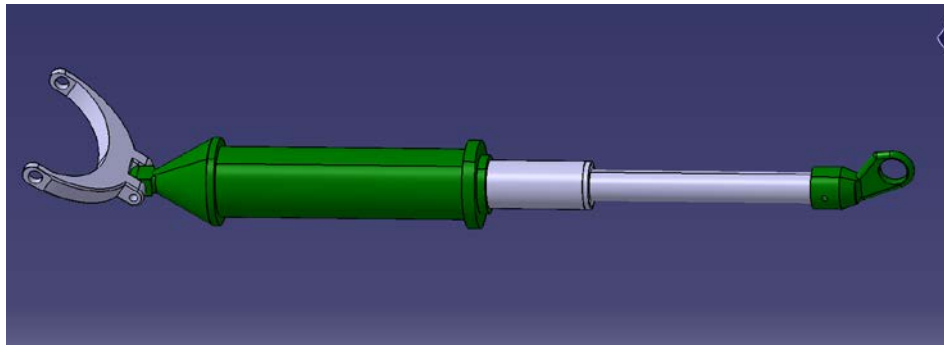
1/8" HESM. ANCHOR KIT - 1 REQ.  
 1/8" HESM. LOCKWASHER KIT - 1 REQ.  
 CVC 856-4-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81-82-83-84-85-86-87-88-89-90-91-92-93-94-95-96-97-98-99-100-101-102-103-104-105-106-107-108-109-110-111-112-113-114-115-116-117-118-119-120-121-122-123-124-125-126-127-128-129-130-131-132-133-134-135-136-137-138-139-140-141-142-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-153-154-155-156-157-158-159-160-161-162-163-164-165-166-167-168-169-170-171-172-173-174-175-176-177-178-179-180-181-182-183-184-185-186-187-188-189-190-191-192-193-194-195-196-197-198-199-200-201-202-203-204-205-206-207-208-209-210-211-212-213-214-215-216-217-218-219-220-221-222-223-224-225-226-227-228-229-230-231-232-233-234-235-236-237-238-239-240-241-242-243-244-245-246-247-248-249-250-251-252-253-254-255-256-257-258-259-260-261-262-263-264-265-266-267-268-269-270-271-272-273-274-275-276-277-278-279-280-281-282-283-284-285-286-287-288-289-290-291-292-293-294-295-296-297-298-299-300-301-302-303-304-305-306-307-308-309-310-311-312-313-314-315-316-317-318-319-320-321-322-323-324-325-326-327-328-329-330-331-332-333-334-335-336-337-338-339-340-341-342-343-344-345-346-347-348-349-350-351-352-353-354-355-356-357-358-359-360-361-362-363-364-365-366-367-368-369-370-371-372-373-374-375-376-377-378-379-380-381-382-383-384-385-386-387-388-389-390-391-392-393-394-395-396-397-398-399-400-401-402-403-404-405-406-407-408-409-410-411-412-413-414-415-416-417-418-419-420-421-422-423-424-425-426-427-428-429-430-431-432-433-434-435-436-437-438-439-440-441-442-443-444-445-446-447-448-449-450-451-452-453-454-455-456-457-458-459-460-461-462-463-464-465-466-467-468-469-470-471-472-473-474-475-476-477-478-479-480-481-482-483-484-485-486-487-488-489-490-491-492-493-494-495-496-497-498-499-500-501-502-503-504-505-506-507-508-509-510-511-512-513-514-515-516-517-518-519-520-521-522-523-524-525-526-527-528-529-530-531-532-533-534-535-536-537-538-539-540-541-542-543-544-545-546-547-548-549-550-551-552-553-554-555-556-557-558-559-560-561-562-563-564-565-566-567-568-569-570-571-572-573-574-575-576-577-578-579-580-581-582-583-584-585-586-587-588-589-590-591-592-593-594-595-596-597-598-599-600-601-602-603-604-605-606-607-608-609-610-611-612-613-614-615-616-617-618-619-620-621-622-623-624-625-626-627-628-629-630-631-632-633-634-635-636-637-638-639-640-641-642-643-644-645-646-647-648-649-650-651-652-653-654-655-656-657-658-659-660-661-662-663-664-665-666-667-668-669-670-671-672-673-674-675-676-677-678-679-680-681-682-683-684-685-686-687-688-689-690-691-692-693-694-695-696-697-698-699-700-701-702-703-704-705-706-707-708-709-710-711-712-713-714-715-716-717-718-719-720-721-722-723-724-725-726-727-728-729-730-731-732-733-734-735-736-737-738-739-740-741-742-743-744-745-746-747-748-749-750-751-752-753-754-755-756-757-758-759-760-761-762-763-764-765-766-767-768-769-770-771-772-773-774-775-776-777-778-779-780-781-782-783-784-785-786-787-788-789-790-791-792-793-794-795-796-797-798-799-800-801-802-803-804-805-806-807-808-809-810-811-812-813-814-815-816-817-818-819-820-821-822-823-824-825-826-827-828-829-830-831-832-833-834-835-836-837-838-839-840-841-842-843-844-845-846-847-848-849-850-851-852-853-854-855-856-857-858-859-860-861-862-863-864-865-866-867-868-869-870-871-872-873-874-875-876-877-878-879-880-881-882-883-884-885-886-887-888-889-890-891-892-893-894-895-896-897-898-899-900-901-902-903-904-905-906-907-908-909-910-911-912-913-914-915-916-917-918-919-920-921-922-923-924-925-926-927-928-929-930-931-932-933-934-935-936-937-938-939-940-941-942-943-944-945-946-947-948-949-950-951-952-953-954-955-956-957-958-959-960-961-962-963-964-965-966-967-968-969-970-971-972-973-974-975-976-977-978-979-980-981-982-983-984-985-986-987-988-989-990-991-992-993-994-995-996-997-998-999-1000-1001-1002-1003-1004-1005-1006-1007-1008-1009-1010-1011-1012-1013-1014-1015-101

En este mismo plano encontramos unas anotaciones que nos permitirán conocer las longitudes de los pistones, ya que suponemos que por la longitud de la camisa, este actuador debe ser telescópico.

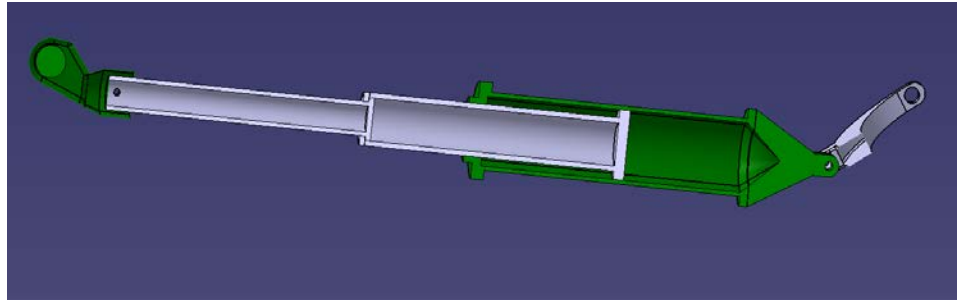


El actuador comprimido, es decir, en el momento del aterrizaje, tienen una longitud de 18,96 pulgadas, 481,58 mm. En el momento de máxima extensión, cuando el avión tiene el tren fuera pero aún está en el aire, el actuador mide 751.84 mm. En último lugar, el actuador tiene una longitud de 271,78 mm cuando el tren de aterrizaje está replegado en la panza del avión. Debido a la diferencia de longitudes, un tramo de 751 mm no tiene espacio en una camisa de como mucho 271 mm, lo que nos hace ver que el actuador debe ser telescópico. En este caso, dividiremos los pistones del actuador en dos tramos, un pistón grueso y un pistón fino, uno de 45 mm de diámetro y 250 mm de longitud y otro de 30 mm de diámetro y 240 mm de longitud.

157

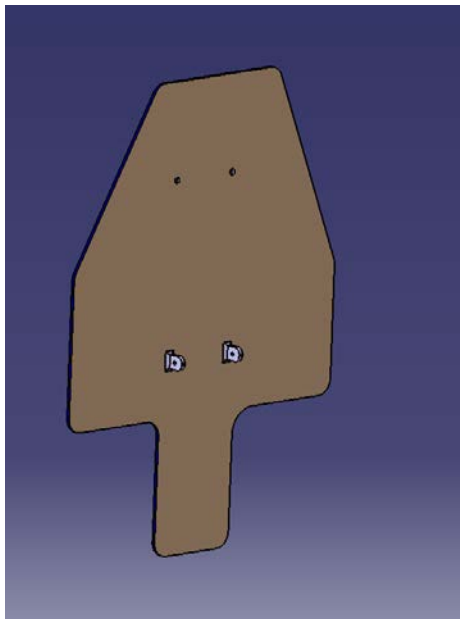


*Actuador telescópico modelado*

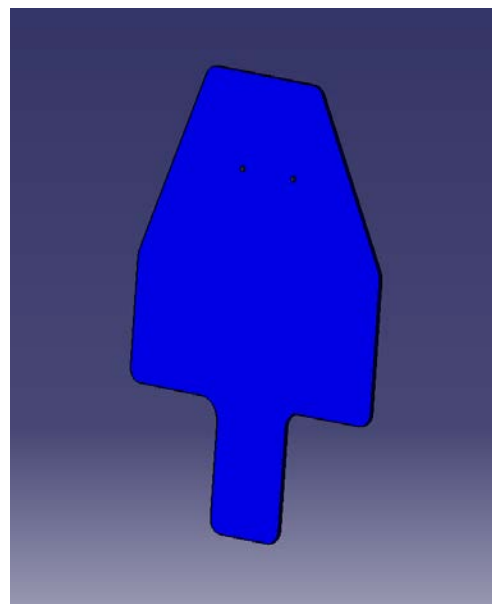


*Sección del actuador hidráulico*

Fijándonos en el diagrama anterior, podemos intuir las dimensiones del protector del tren delantero. Este protector protege el conjunto de posibles animales voladores o fragmentos que se desprendan de una batalla. Además, sirve como parte de las compuertas del alojamiento del tren. Supondremos que la placa tiene unas orejas que unirán con la suspensión, además de un espesor de 5 mm.

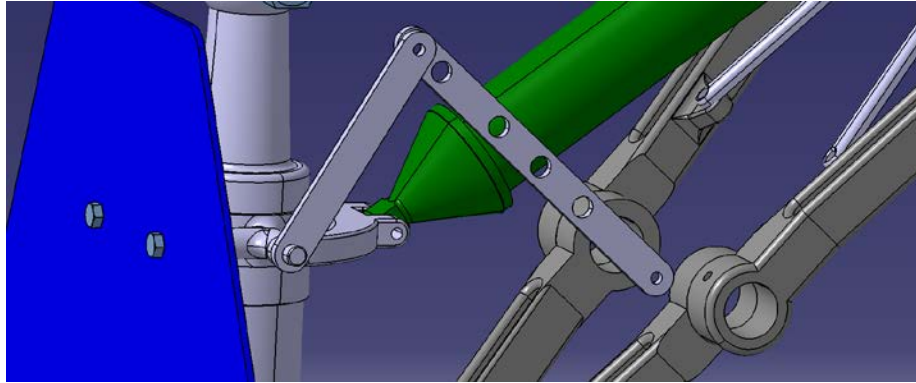


*Parte posterior del protector*



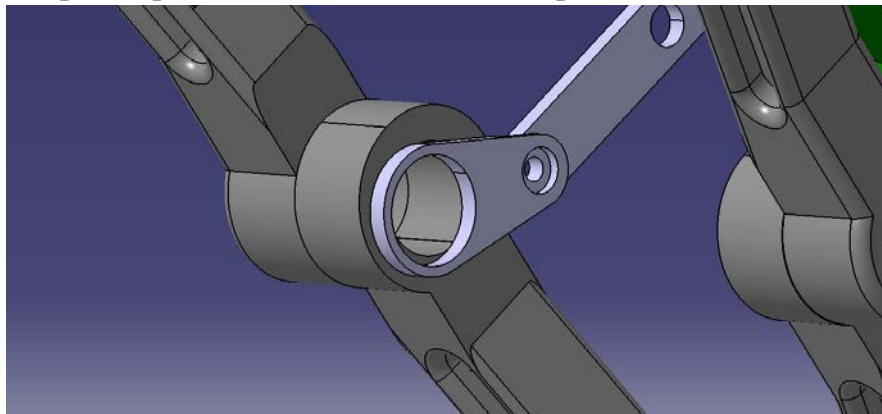
*Parte anterior del protector*

A continuación modelamos un par de eslabones que irán conectados a dos muelles. Este mecanismo fijará la posición del tren de aterrizaje para así evitar tener que mantener activado el pistón hidráulico constantemente. Los eslabones medirán 190 mm y 273 mm de longitud, y llevarán varios taladros de 30 mm de diámetro. El eslabón más corto va colocado en el esparrago roscado modelado anteriormente.



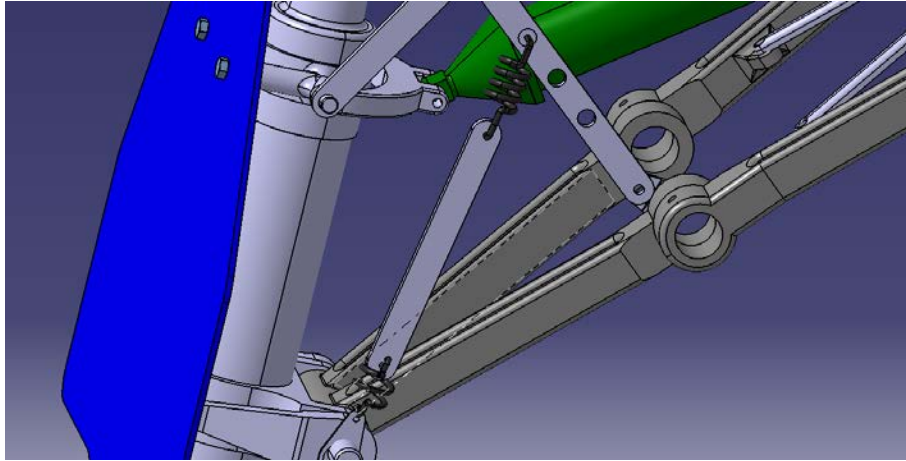
*Eslabones modelados*

La cogida que une el otro eslabón con la estructura principal del mecanismo será una chapa adaptada a los taladros de cada pieza.



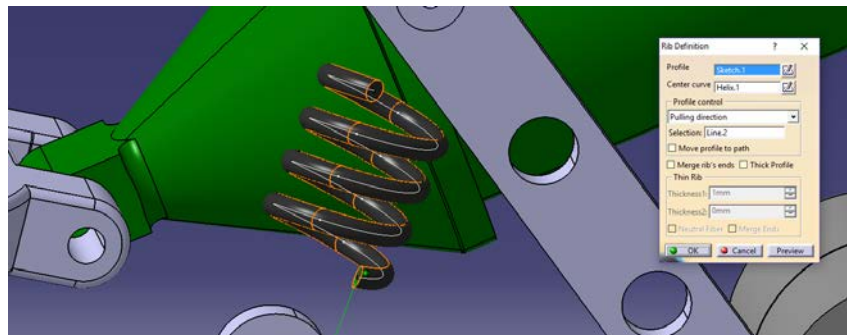
*Cogida del eslabón mayor*

Por último, modelamos la última parte de este subsistema de sujeción del mecanismo de arrastre. Lo consideraremos como un sistema de sujeción interna o de mantenimiento de forma. Estará compuesto de un eslabón y un par de muelles, que unen dicho eslabón con una abrazadera de la suspensión un con el eslabón mayor.



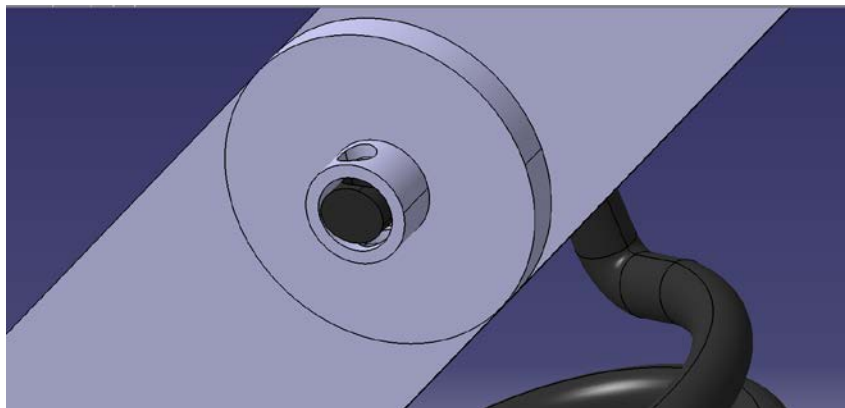
*Subsistema elástico de sujeción*

El modelado del muelle es la parte más interesante de este subsistema. Primero crearemos una guía con la forma del muelle, es decir, una hélice. En el módulo de superficies aplicamos la herramienta helix, con la que podremos crear dicha figura. Luego, en un plano perpendicular a esa hélice, creamos la sección circular del muelle. Por último, usamos la operación Rib, seleccionando la hélice como guía y la sección de 5 mm de diámetro como perfil.



*Modelado del muelle*

Finalmente, creamos dos piezas donde se introduce el muelle y se atornilla para así fijarlo tanto al eslabón mayor como a la abrazadera roscada de la

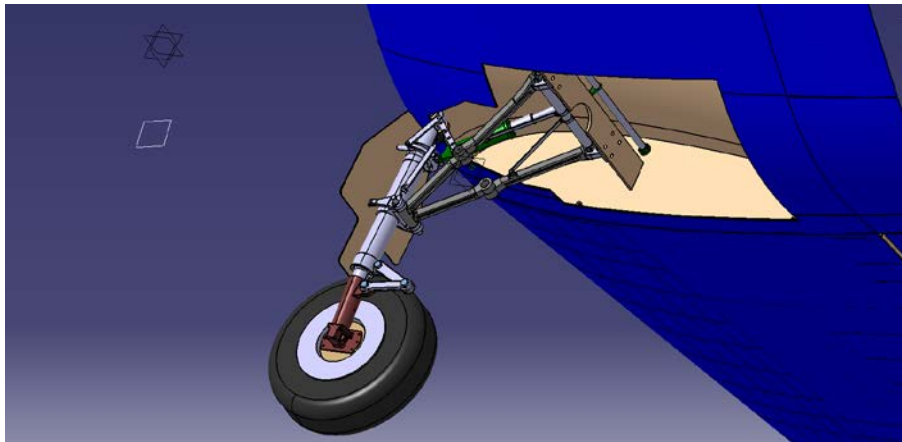


*Conector del muelle.*

suspensión.



Una vez modelado este subsistema ya solo nos queda crear la barra fija donde se agarrará el actuador hidráulico y los dos soportes que fijarán dicha barra en dos costillas de la panza.



*Tren de aterrizaje colocado en su alojamiento*

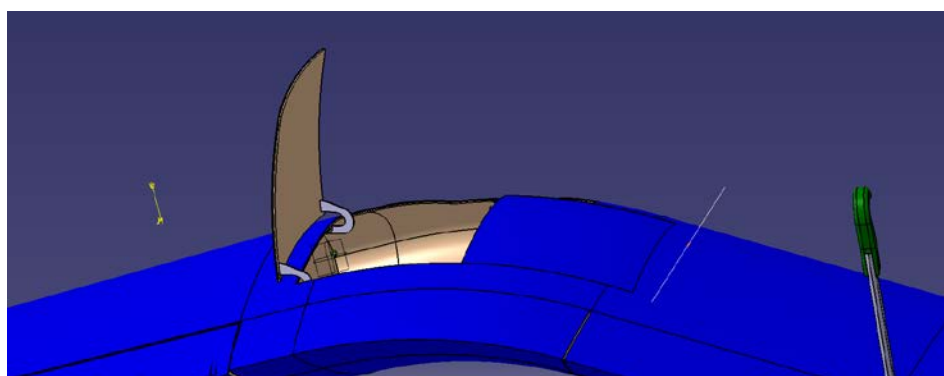
En este apartado del modelado del mecanismo de arrastre hemos usado una mayor cantidad de tornillería que en el apartado anterior. Tal tornillería queda listada en la siguiente tabla:

ISO 4016 M39x150 STEEL	1 UNIDAD
ISO 4016 M6x30 STEEL	2 UNIDADES
ISO 4034 NUT M6 STEEL	2 UNIDADES
ISO 4034 NUT M24 STEEL	2 UNIDADES
ISO 8675 NUT M14x1.5	2 UNIDADES
ISO 4016 M8x75 STEEL	1 UNIDAD
ISO 4032 NUT M8 STEEL	1 UNIDAD
ISO 4032 NUT M16 STEEL	8 UNIDADES
ISO 10511 NUT M10 STEEL	2 UNIDADES
ISO 4017 SCREW M8x20 STEEL	2 UNIDADES
ISO 4017 SCREW M8x16 STEEL	2 UNIDADES
ISO 8752 PIN 3x10 STEEL	4 UNIDADES
ISO 4014 M10x60 STEEL	4 UNIDADES
ISO 8675 NUT M10x1.25 STEEL	4 UNIDADES
ISO 4762 SCREW M16x45 STEEL	8 UNIDADES
ISO 8752 PIN 6x45 STEEL	2 UNIDADES
ISO 7046 SCREW M10x16-H STEEL	2 UNIDADES
ISO 7046 SCREW M10x30-H STEEL	2 UNIDADES
ISO 8734 PIN 6x45 STEEL	1 UNIDAD

*Lista de tornillería del mecanismo de arrastre*

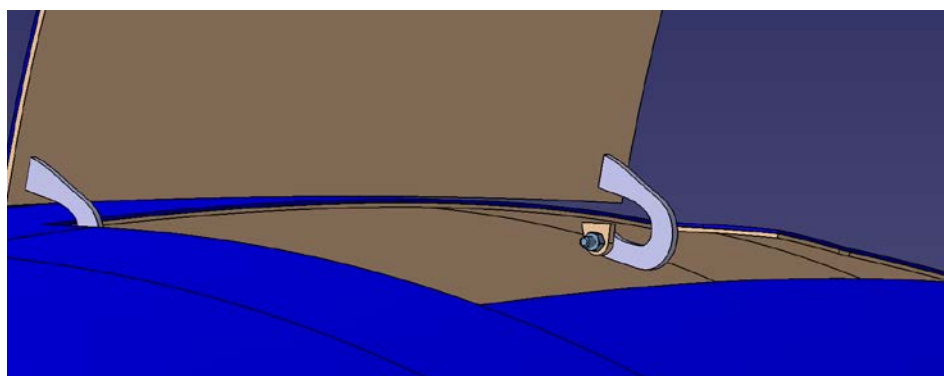
### 10.1.3 Compuertas

Las compuertas son dos pares de placas que cierran tras haber replegado el tren de aterrizaje. Su modelado es bastante simple. Tomaremos como referencia el espacio que abrimos en la panza, de forma que usando superficies podemos simular dos puertas. Cubriremos la mitad del espacio con una superficie y la otra mitad con otra, en dos part diferentes, de forma que podamos girarlas de forma independiente. A las dos superficies que hagamos le damos un espesor de 3 mm, el mismo que la cubierta de la panza, consiguiendo así el perfecto ensamblaje entre compuertas y avión.



*Compuertas modeladas*

A su vez, tenemos que modelar un par de bisagras y situar adecuadamente el eje de rotación para que las compuertas no choque con la cubierta de la panza. Este proceso se hace de forma intuitiva y se corrige mediante el método de prueba-error.



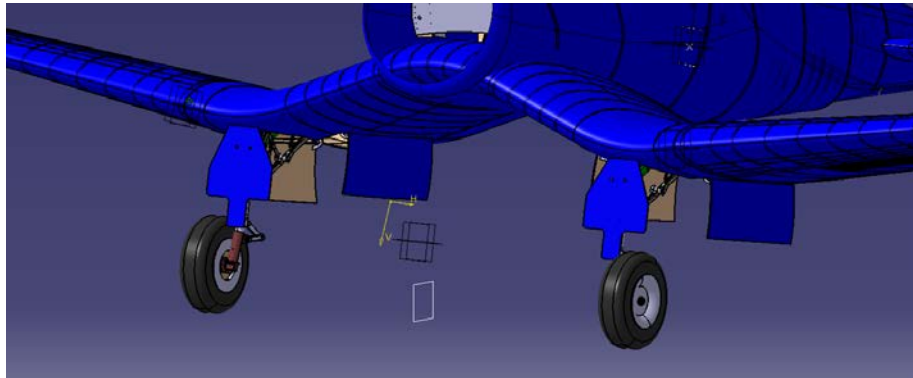
*Bisagras de las compuertas*

Esta sección también ha sido susceptible del uso de tornillería, pero en este caso en menor cantidad.

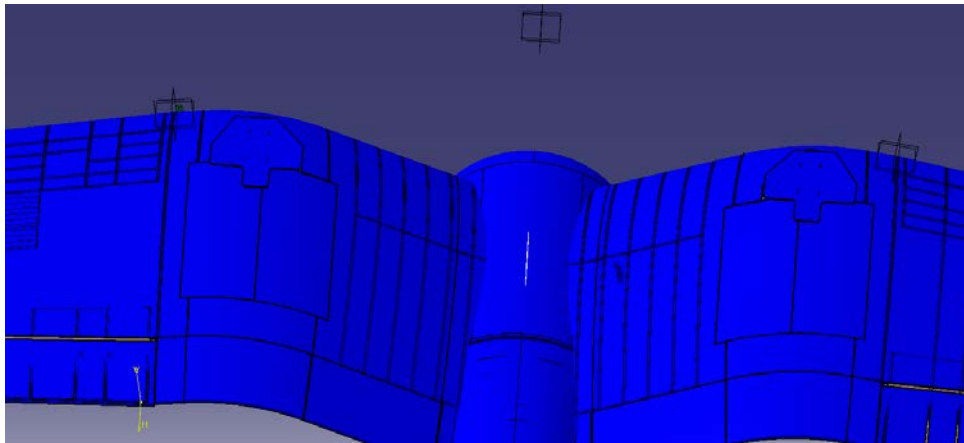
ISO 4014 M10x45 STEEL	4 UNIDADES
ISO 4034 NUT M10 STEEL	4 UNIDADES

*Lista de tornillería usada en las compuertas*

A continuación mostramos el resultado final del tren de aterrizaje delantero, tanto extendido como replegado después de haber copiado mediante simetría todos los products anteriores.



*Tren de aterrizaje delantero extendido*

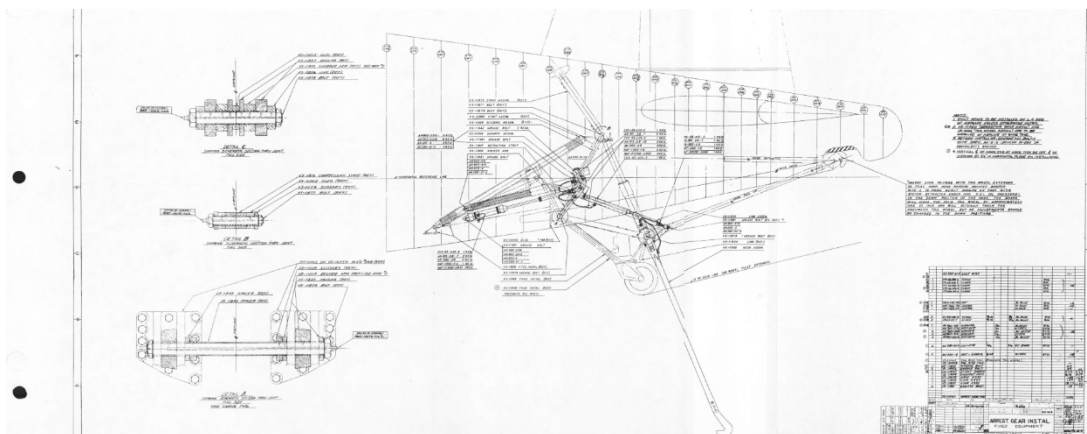


*Tren de aterrizaje delantero replegado*

## 10.2 Tren de aterrizaje trasero

El tren de aterrizaje trasero está compuesto por una sola pieza, situada en la cola del avión bajo el timón de dirección. En este tren también encontraremos el gancho que facilita al Corsair el aterrizaje sobre un portaaviones.

El modelado de este tren se llevará a cabo fijándonos en el siguiente plano.



*Plano tren de aterrizaje trasero*

### 10.2.1 Mecanismo de arrastre del tren trasero

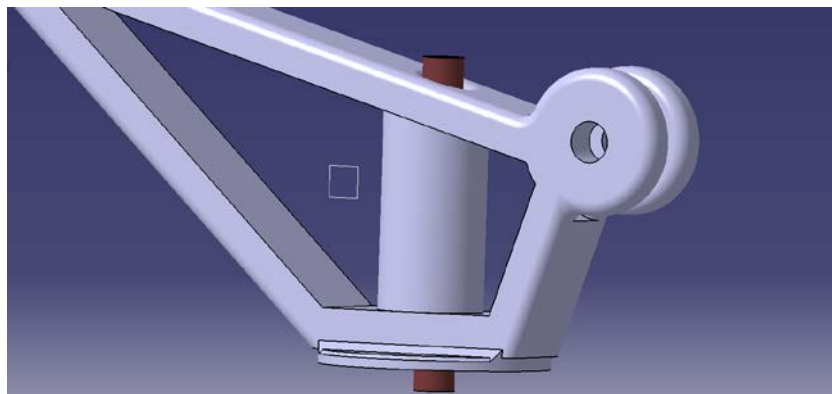
Technical drawing of a motorcycle chassis showing various components and their part numbers. The drawing includes a side view of the frame, swingarm, and rear wheel assembly. Key components labeled include the engine, transmission, swingarm, rear wheel, and various bolts and nuts. A list of part numbers is provided on the right side of the drawing.

Part numbers listed on the right side of the drawing:

- VS-1000 LOW ASSEMBLY
- VS-1001 GREASE BOLT SEE NOTE 1
- VS-1002
- VS-1003
- VS-1004
- VS-1005
- VS-1006
- VS-1007
- VS-1008
- VS-1009
- VS-1010
- VS-1011
- VS-1012
- VS-1013
- VS-1014
- VS-1015
- VS-1016
- VS-1017
- VS-1018
- VS-1019
- VS-1020
- VS-1021
- VS-1022
- VS-1023
- VS-1024
- VS-1025
- VS-1026
- VS-1027
- VS-1028
- VS-1029
- VS-1030
- VS-1031
- VS-1032
- VS-1033
- VS-1034
- VS-1035
- VS-1036
- VS-1037
- VS-1038
- VS-1039
- VS-1040
- VS-1041
- VS-1042
- VS-1043
- VS-1044
- VS-1045
- VS-1046
- VS-1047
- VS-1048
- VS-1049
- VS-1050
- VS-1051
- VS-1052
- VS-1053
- VS-1054
- VS-1055
- VS-1056
- VS-1057
- VS-1058
- VS-1059
- VS-1060
- VS-1061
- VS-1062
- VS-1063
- VS-1064
- VS-1065
- VS-1066
- VS-1067
- VS-1068
- VS-1069
- VS-1070
- VS-1071
- VS-1072
- VS-1073
- VS-1074
- VS-1075
- VS-1076
- VS-1077
- VS-1078
- VS-1079
- VS-1080
- VS-1081
- VS-1082
- VS-1083
- VS-1084
- VS-1085
- VS-1086
- VS-1087
- VS-1088
- VS-1089
- VS-1090
- VS-1091
- VS-1092
- VS-1093
- VS-1094
- VS-1095
- VS-1096
- VS-1097
- VS-1098
- VS-1099
- VS-1100
- VS-1101
- VS-1102
- VS-1103
- VS-1104
- VS-1105
- VS-1106
- VS-1107
- VS-1108
- VS-1109
- VS-1110
- VS-1111
- VS-1112
- VS-1113
- VS-1114
- VS-1115
- VS-1116
- VS-1117
- VS-1118
- VS-1119
- VS-1120
- VS-1121
- VS-1122
- VS-1123
- VS-1124
- VS-1125
- VS-1126
- VS-1127
- VS-1128
- VS-1129
- VS-1130
- VS-1131
- VS-1132
- VS-1133
- VS-1134
- VS-1135
- VS-1136
- VS-1137
- VS-1138
- VS-1139
- VS-1140
- VS-1141
- VS-1142
- VS-1143
- VS-1144
- VS-1145
- VS-1146
- VS-1147
- VS-1148
- VS-1149
- VS-1150
- VS-1151
- VS-1152
- VS-1153
- VS-1154
- VS-1155
- VS-1156
- VS-1157
- VS-1158
- VS-1159
- VS-1160
- VS-1161
- VS-1162
- VS-1163
- VS-1164
- VS-1165
- VS-1166
- VS-1167
- VS-1168
- VS-1169
- VS-1170
- VS-1171
- VS-1172
- VS-1173
- VS-1174
- VS-1175
- VS-1176
- VS-1177
- VS-1178
- VS-1179
- VS-1180
- VS-1181
- VS-1182
- VS-1183
- VS-1184
- VS-1185
- VS-1186
- VS-1187
- VS-1188
- VS-1189
- VS-1190
- VS-1191
- VS-1192
- VS-1193
- VS-1194
- VS-1195
- VS-1196
- VS-1197
- VS-1198
- VS-1199
- VS-1200
- VS-1201
- VS-1202
- VS-1203
- VS-1204
- VS-1205
- VS-1206
- VS-1207
- VS-1208
- VS-1209
- VS-1210
- VS-1211
- VS-1212
- VS-1213
- VS-1214
- VS-1215
- VS-1216
- VS-1217
- VS-1218
- VS-1219
- VS-1220
- VS-1221
- VS-1222
- VS-1223
- VS-1224
- VS-1225
- VS-1226
- VS-1227
- VS-1228
- VS-1229
- VS-1230
- VS-1231
- VS-1232
- VS-1233
- VS-1234
- VS-1235
- VS-1236
- VS-1237
- VS-1238
- VS-1239
- VS-1240
- VS-1241
- VS-1242
- VS-1243
- VS-1244
- VS-1245
- VS-1246
- VS-1247
- VS-1248
- VS-1249
- VS-1250
- VS-1251
- VS-1252
- VS-1253
- VS-1254
- VS-1255
- VS-1256
- VS-1257
- VS-1258
- VS-1259
- VS-1260
- VS-1261
- VS-1262
- VS-1263
- VS-1264
- VS-1265
- VS-1266
- VS-1267
- VS-1268
- VS-1269
- VS-1270
- VS-1271
- VS-1272
- VS-1273
- VS-1274
- VS-1275
- VS-1276
- VS-1277
- VS-1278
- VS-1279
- VS-1280
- VS-1281
- VS-1282
- VS-1283
- VS-1284
- VS-1285
- VS-1286
- VS-1287
- VS-1288
- VS-1289
- VS-1290
- VS-1291
- VS-1292
- VS-1293
- VS-1294
- VS-1295
- VS-1296
- VS-1297
- VS-1298
- VS-1299
- VS-1300
- VS-1301
- VS-1302
- VS-1303
- VS-1304
- VS-1305
- VS-1306
- VS-1307
- VS-1308
- VS-1309
- VS-1310
- VS-1311
- VS-1312
- VS-1313
- VS-1314
- VS-1315
- VS-1316
- VS-1317
- VS-1318
- VS-1319
- VS-1320
- VS-1321
- VS-1322
- VS-1323
- VS-1324
- VS-1325
- VS-132

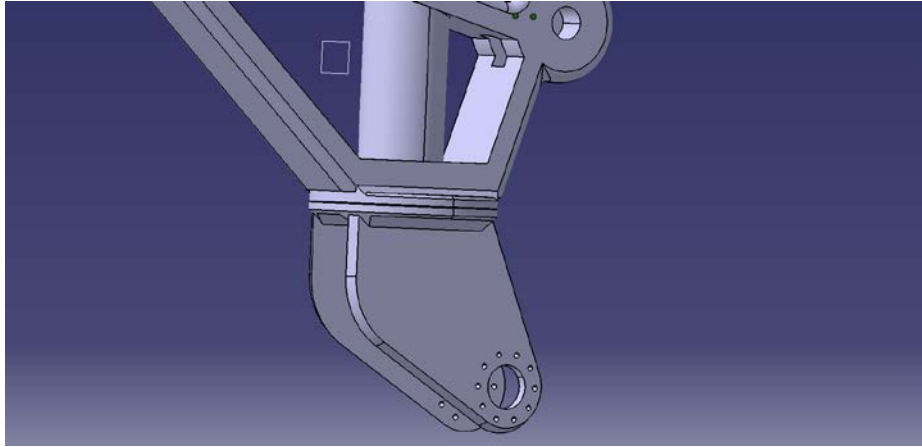
A 3D CAD model of a mechanical linkage system. It consists of a crank arm pivoted at one end, connected to a connecting rod, which is in turn connected to a slider block. The slider block is constrained to move vertically along a guide. A small square symbol is shown on the connecting rod, likely indicating a right angle or a specific geometric feature.

En el interior del cilindro central colocaremos un eje donde uniremos a continuación el soporte de la llanta y el neumático. Este eje tendrá una longitud de 243 mm y un diámetro de 30 mm.



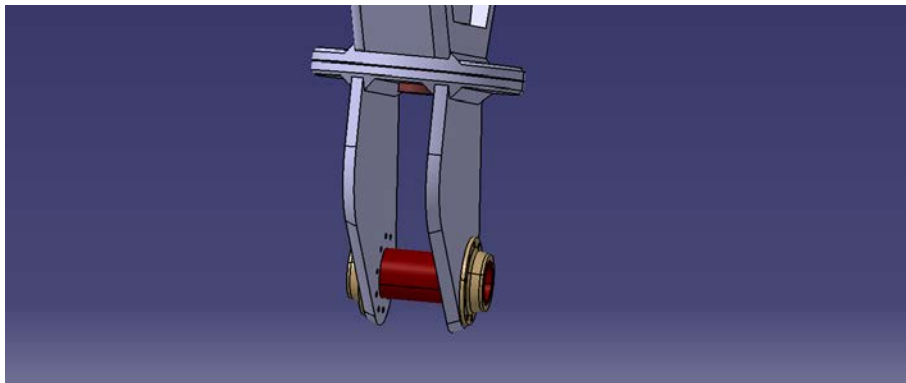
164

En este eje, tendremos que unir unas orejas donde irá colodada el eje de giro de la llanta. Es importante comentar que el eje modelado anteriormente debe ser conectado al mecanismo de giro del timón para permitir el control del avión en pista. Estas orejas formarán un rotor que girará solidariamente con el eje.



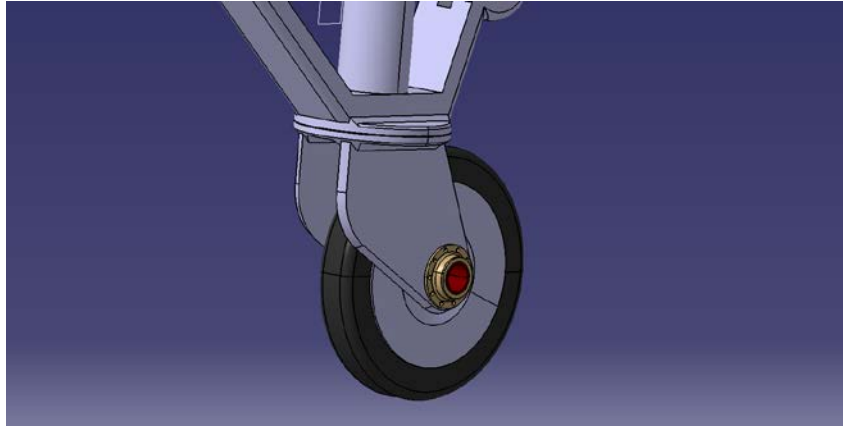
*Rotor modelado*

Ahora solo queda crear un eje de 40 mm de diámetro y 110 mm de longitud. En sus extremos se ha hecho una reducción de radio para acoplar los topes y así evitar la expulsión del eje en su funcionamiento.



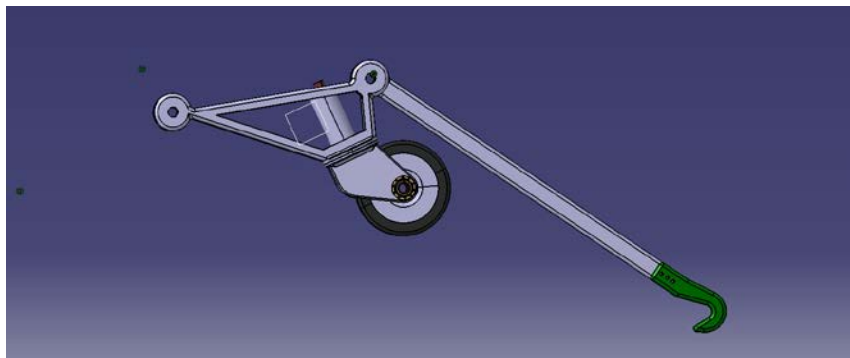
*Eje de giro de la rueda junto con los topes*

Luego, colharemos el neumático, cuyas dimensiones han sido tomadas del plano anterior. A partir del modelado del neumático se ha creado en su interior una llanta similar a la usada en el tren delantero, pero esta vez más pequeña. Tanto el neumático como la llanta se han modelado con la operación Shaft, a la cual solo hay que proporcionar el perfil y un eje de giro. Las dimensiones del neumático son de 184 mm y 276 mm de diámetros y 55 mm de anchura. Para la llanta, se han redondeado las aristas que están próximas al neumático. A este conjunto de neumático, horquilla y llanta se le denomina como patín de cola.



*Patín de cola modelado*

Ahora modelamos el garfio o gancho que agarrará el tensor metálico que se encuentra en las superficies de los portaaviones en el aterrizaje. Este sistema lleva usándose desde 1946 hasta la actualidad. Las medidas las hemos tomado del plano anterior, donde tenemos un garfio de 1244 mm de longitud. Se ha creado con la operación Pad principalmente, a la que luego hemos complementado con acabados superficiales. Este garfio va unido a la horquilla entre dos orejas de la misma.



*Garfio modelado*

A continuación, vamos a crear el sistema de accionamiento del tren de aterrizaje. Este se encarga de replegarlo y sacarlo en el momento de despegue-aterrizaje. Este accinador hidráulico está compuesto por una camisa de 46 mm de diámetro y 3 mm de espesor y un pistón de 40 mm de diámetro y también 3 mm de espesor. Un extremo de la camisa va unida a la costilla 6 y el otro extremo del pistón a un extremo del cilindro de suspensión.

En general, este sistema debe tener una longitud mínima de 675 mm replegado y 1172 mm con el tren fuera.

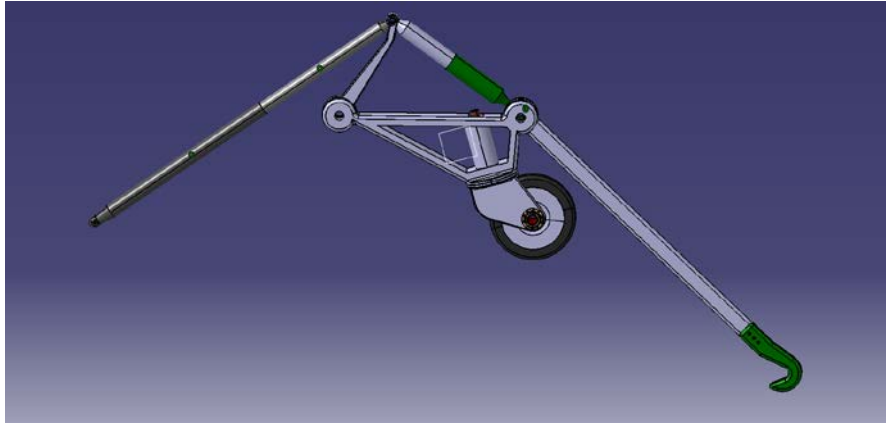


*Sistema de accionamiento del tren trasero*



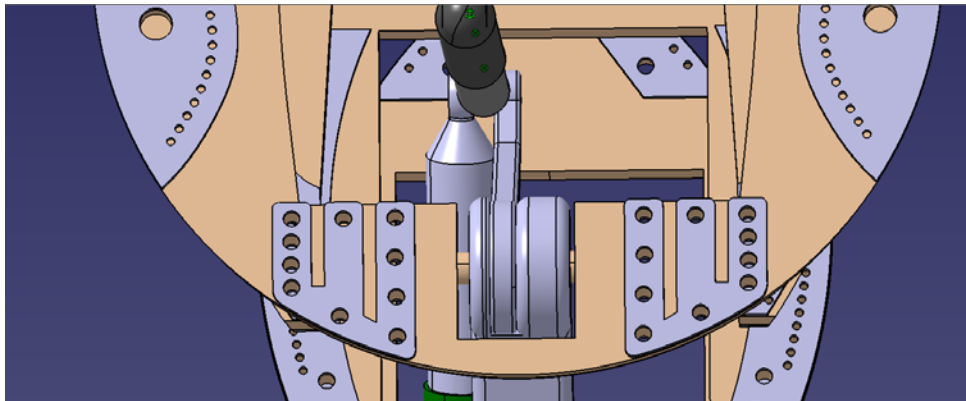
Acabando, modelamos el sistema de suspensión como ya hicimos en el tren delantero. Se trata de una camisa y un pistón que van unidos al pistón de accionamiento y a la horquilla. Las dimensiones han sido tomadas del plano anterior, siendo una camisa de 60 mm de diámetro y 5 mm de espesor. La longitud de la camisa es de 300 mm y del pistón de 327 mm, pero cuando el avión tiene el tren fuera pero aún no está sobre la pista el conjunto mide 522 mm.

Finalmente, modelamos una barra fija que une la unión del sistema de accionamiento y la suspensión con la otra cogida de la horquilla.



*Tren de aterrizaje trasero*

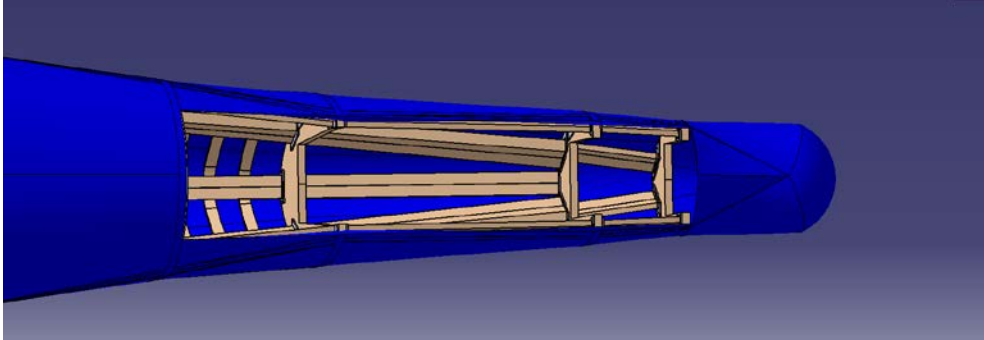
En último lugar, tenemos que crear un eje de 25 mm de diámetro en la costilla 6 de forma que tanto la horquilla como la barra fija puedan rotar para replegar el tren trasero.



*Unión costilla 6 y tren trasero*

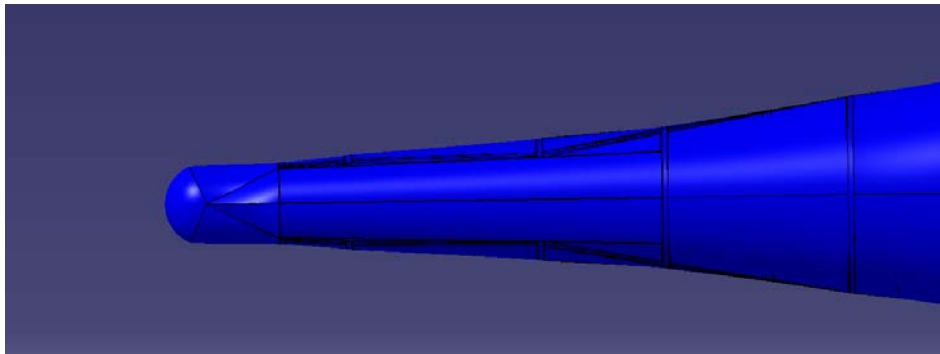
### 10.2.2 Compuertas tren trasero

Para el modelado de las dos compuertas traseras emplearemos el módulo de superficies. Usaremos dos secciones, una de cada extremo de la abertura y tres guías que las unan entre sí.



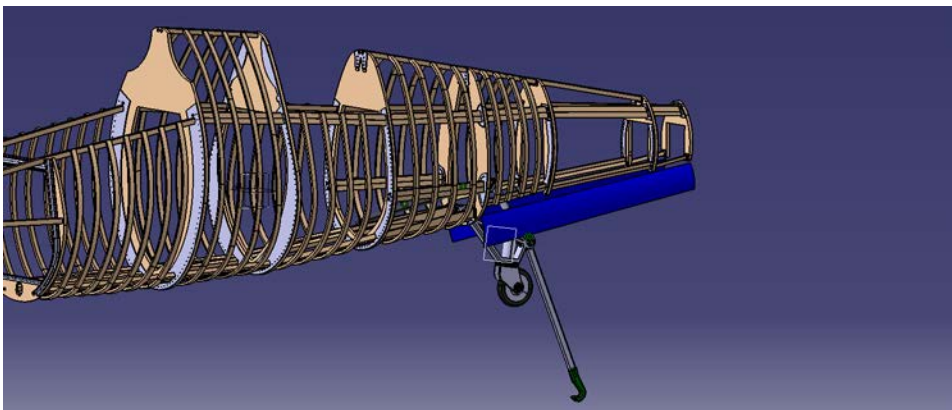
*Abertura del tren de aterrizaje trasero*

Luego usaremos la función Multi-sections Surface, para luego dar a dicha superficie 3 mm de espesor. Finalmente, haremos un Split para quitar la mitad de dicha superficie y luego, en un part diferente, haremos la operación de simetría para así poder mover ambas compuertas de forma independiente.



*Compuertas traseras*

Por último, creamos dos ejes en cada compuerta que serán los que atraviesen las bisagras que no se modelarán en este proyecto. Estos ejes serán usados para provocar la abertura de las compuertas.

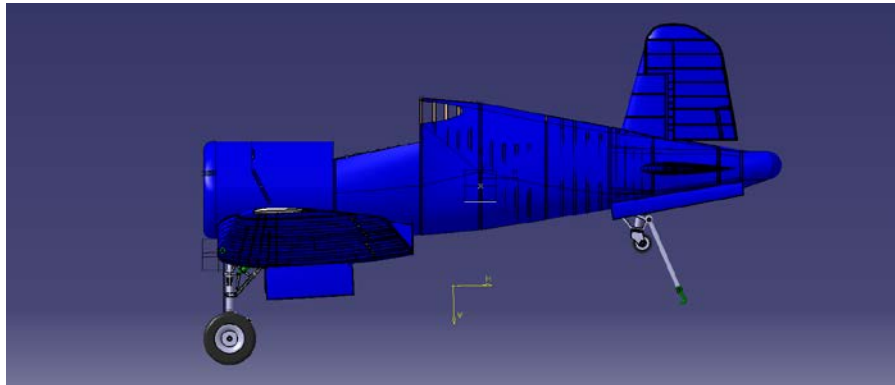


*Tren de aterrizaje trasero modelado*

En este apartado hemos usado la siguiente tornillería:

ISO 8752 PIN 5x14 STEEL	20 UNIDADES
ISO 8752 PIN 10x40 STEEL	3 UNIDADES
ISO 4032 NUT M30 STEEL	1 UNIDAD
ISO 4014 M30x140 STEEL	1 UNIDAD
ISO 4014 M20x80 STEEL	1 UNIDAD
ISO 4034 NUT M20 STEEL	1 UNIDAD

*Lista de tornillería del tren de aterrizaje trasero*



*Perfil Vought Corsair F4U*

## 11. GRUPO MOTOR

Como se explica en el inicio de este proyecto, en este apartado modelaremos el carenado del motor, la hélice y el sistema de cambio de paso de la hélice.

El carenado del motor es la cubierta que tiene asociado todo el grupo motor y que protege tanto el escape, colectores y bloque motor de las inclemencias externas o posibles impactos. Este carenado también tiene asociado un grupo de aletas o flaps que se abren en el aterrizaje para así contribuir al frenado del avión.



*Carenado de un Corsair*

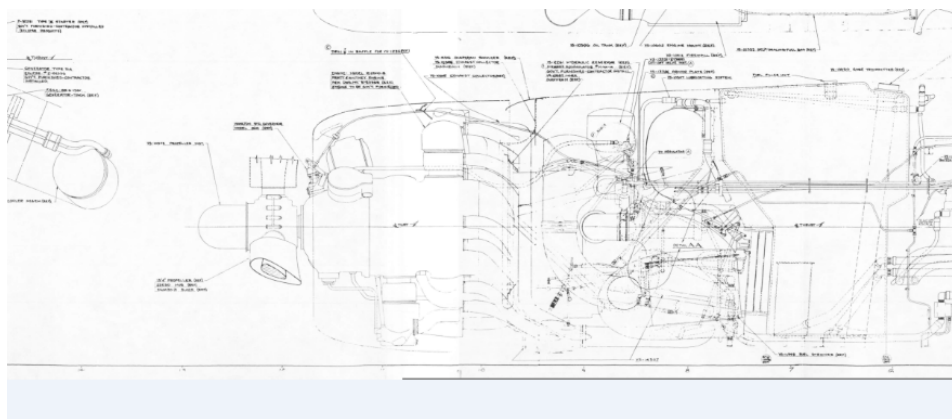
La hélice es el sistema de propulsión de nuestro Vought Corsair F4U, el sistema más común de propulsión de la segunda guerra mundial, aunque ya países como Rusia empezaron a introducir la propulsión por turbina a chorro. La hélice en este caso es de tres aspas, consiguiendo así un mayor empuje. También incorpora un sistema de cambio de paso de la hélice, una especie de caja de cambios continua que gradúa la potencia necesaria según la situación. Si el avión se dispone a despegar el paso de la hélice será diferente a si el avión se encuentra a 10.000 pies a velocidad de crucero.



*Vista frontal de la hélice del Corsair*

## 11.1 Carenado

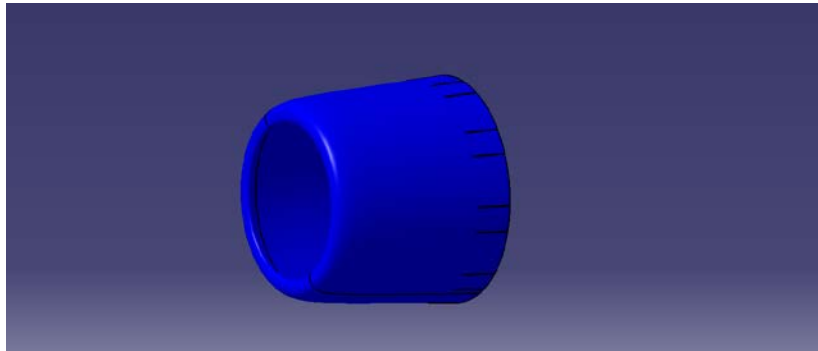
Para el modelado del carenado seguiremos un plano que disponemos sobre el grupo motor.



*Plano grupo motor*

Con este plano, podemos tomar las medidas de la longitud y la curvatura exterior. Se modelará en el módulo de superficies, usando la operación de Revolute, a la que le aportaremos una línea ue será el contorno de nuestro carenado y un centro de giro.

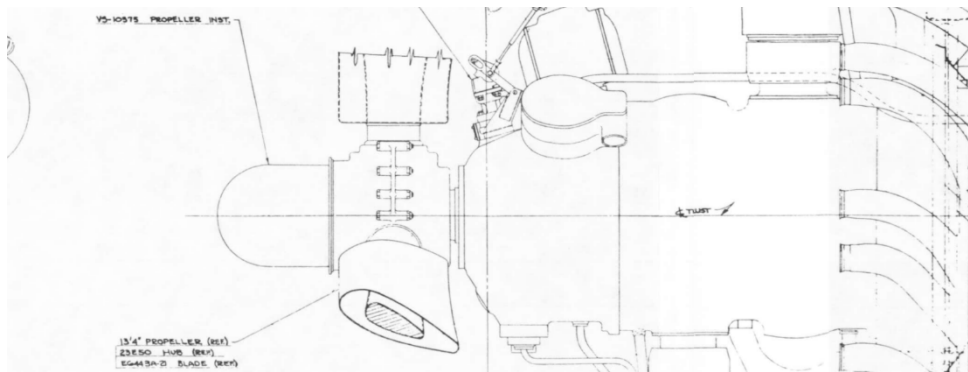
Una vez creado el carenado, modelaremos los espacios entre cada flaps del carenado, pero no ningún sistema de actuación o giro. Le daremos un espesor tanto al carenado como a los flaps de 2 mm.



*Carenado modelado*

## 11.2 Hélice

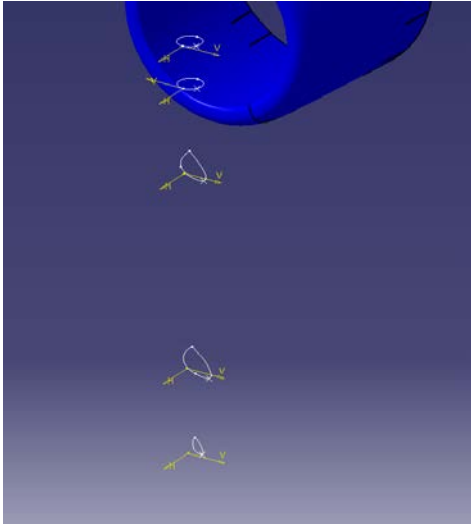
En este apartado modelaremos no solo la hélice, sino el cono y el sistema de cambio de paso de las aspas. Para el modelado de la hélice solo disponemos del siguiente plano, del que supondremos varios perfiles NACA para introducirlos mediante macros. Estos perfiles se irán intercalando para hacer más tarde un Multi-sections surface de varias secciones.



*Plano sección hélice*

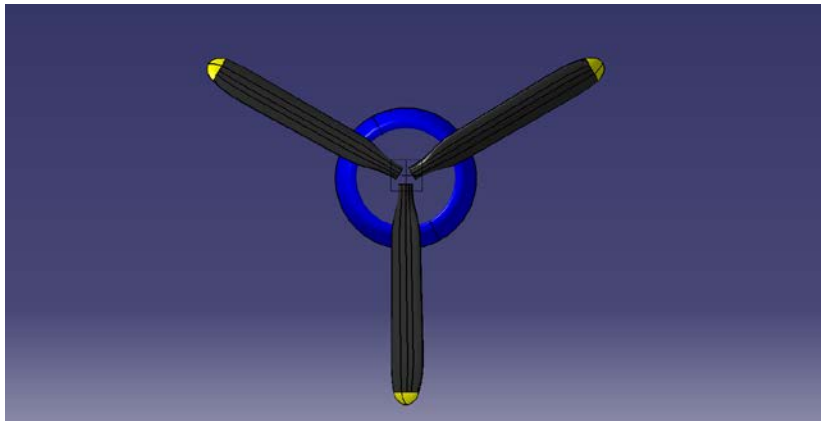
### 11.2.1 Aspas

Para el modelado de las aspas introduciremos varios perfiles NACA a través de excel y sus macros. Serán 5 perfiles NACA, siendo los dos primeros circulares y los tres siguientes NACA 4412. Usamos este perfil después de un proceso de investigación sobre pruebas de diferentes perfiles usados en el Corsair.



*Secciones de la hélice*

Una vez modelados los diferentes perfiles, procedemos a colocar la guía a través de las secciones. Luego recortaremos la punta con split y así redondearemos la parte superior, dándole el color amarillo característico. Por último, haremos un cicle pattern para copiar cada  $120^\circ$  el mismo body y así modelar las 3 aspas simultáneamente.



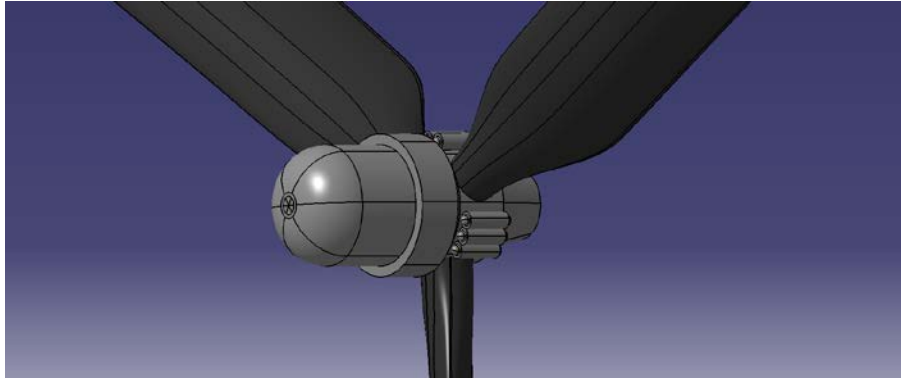
*Aspas modeladas*

### *11.2.2 Como*

El cono es la estructura que soporta las tres aspas, el mecanismo de cambio de paso y que conecta con el rotor del motor. Cogemos como referencia el plano anterior donde podemos tomar medidas del cono. Éste será de 320 mm de diámetro y 764 mm de longitud, aunque es de sección variable a lo largo de su eje longitudinal. Transversalmente, contiene tres taladros de 142 mm de diámetro, la misma dimensión que el extremo interior de cada aspa. En el interior del cono, existe un hueco necesario para alojar el sistema de cambio de paso que se ha diseñado.

También incluiremos 6 alojamientos para tornillos que unan las dos partes del cono, que aunque se ha diseñado como un mismo sólido, debe ser abierto para facilitar la manipulación, colocación y mantenimiento del mismo.

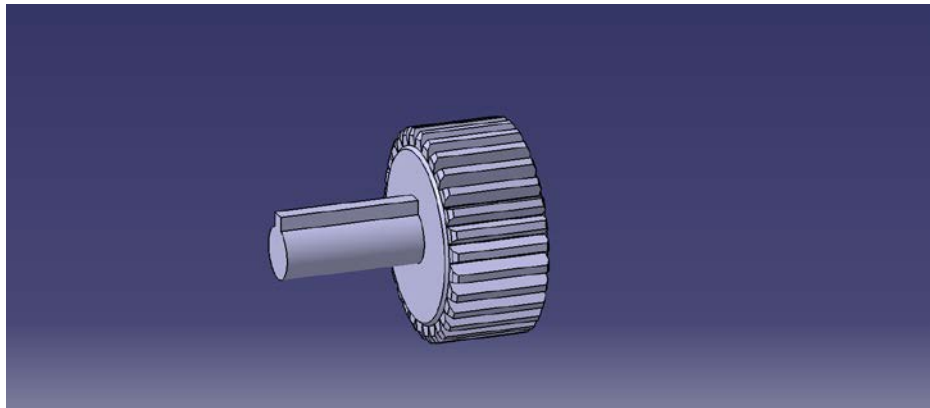




*Cono modelado*

### *11.3 Sistema de cambio de paso*

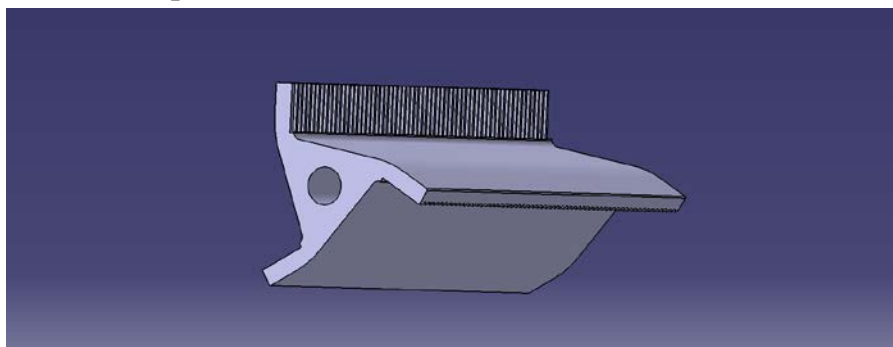
El sistema que he ideado es simple. Un mecanismo piñón-cremallera compuesto por 3 piñones y una cremallera triple. Este sistema está ideado para que con un movimiento lineal de la cremallera giren simultáneamente las tres aspas en el mismo sentido.



*Piñón modelado*

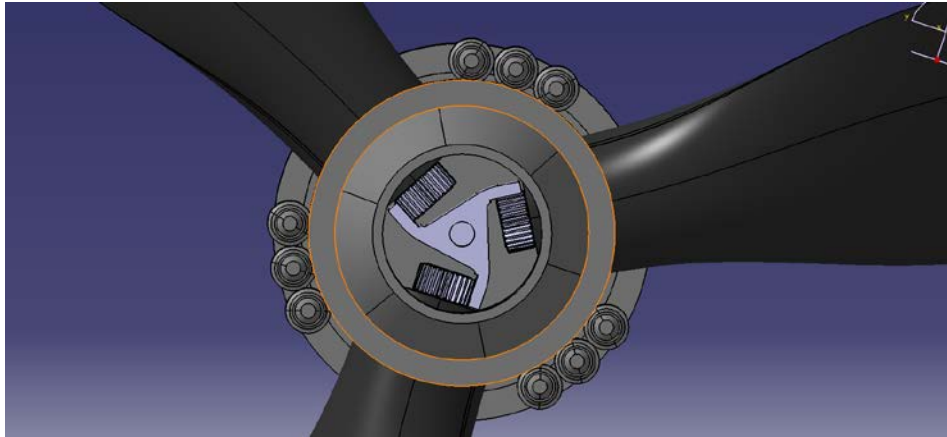
Dicho piñón es un engranaje de 30 dientes, módulo 1,667 mm. En el centro se encuentra un pequeño eje que actúa como chaveta, impidiendo el deslizamiento del piñón con respecto a la aspa.

A continuación, modelamos la cremallera triple, con una longitud de 360 mm. Además, presenta un orificio en el extremo interior del carenado para que se pueda introducir el pistón de un accionador hidráulico.



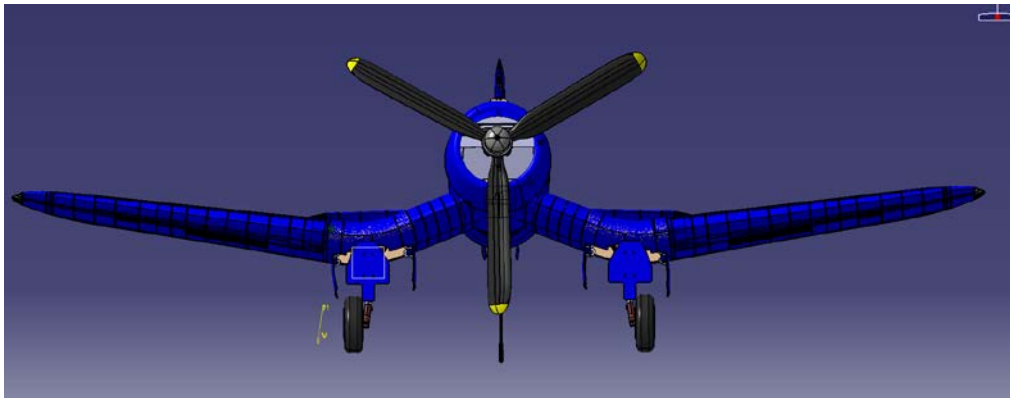
*Cremallera triple*

Una vez diseñados, se realiza la operación de vaciado en la base de las aspas, el negativo de la chaveta. Introducimos todos los componentes.



*Sistema de cambio de paso*

Una vez diseñada cada pieza del grupo motor, colocamos según los planos cada pieza en su posición relativa.

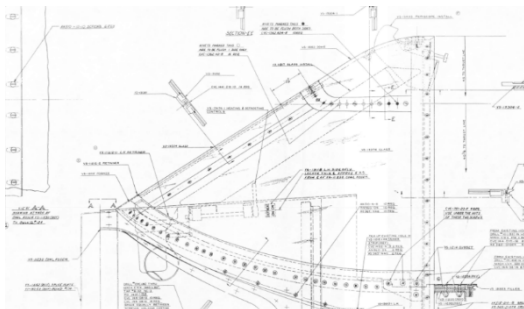


*Vista frontal del grupo motor en Vought Corsair*

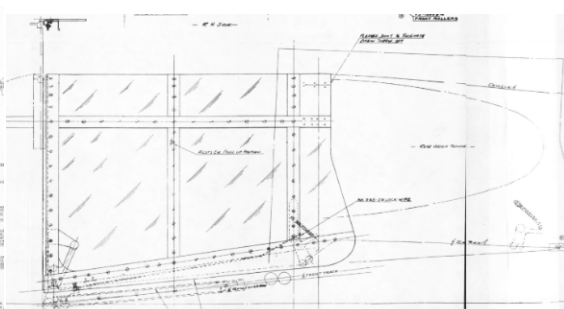
## 12. COCKPIT

El cockpit es la parte del avión preparada para el alojamiento del piloto, sus mandos de control del aparato y comunicaciones externas por radio. En nuestro caso, vamos a modelar el panel de instrumentos, la cabina y colocaremos el piloto mediante el módulo Ergonomic Design and Analysis.

Para su modelado, partimos de los siguientes planos.



*Plano de la parte delantera de la cabina*



*Plano de la parte trasera de la cabina*

Para el modelao del panel de control partiremos del siguiente diagrama, aunque no profundizaremos en el modelado de cada instrumento.

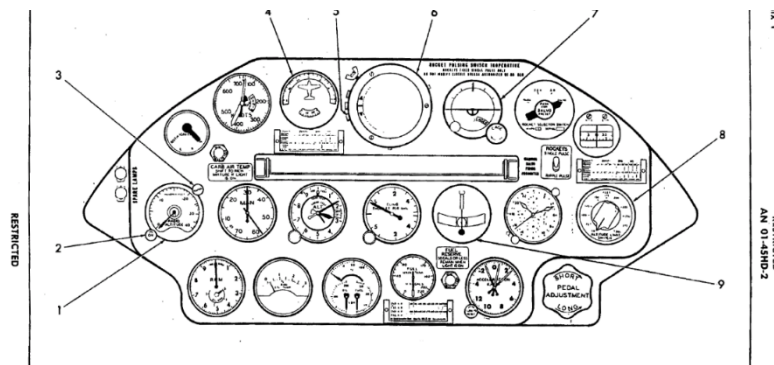


Diagrama del panel de instrumentos

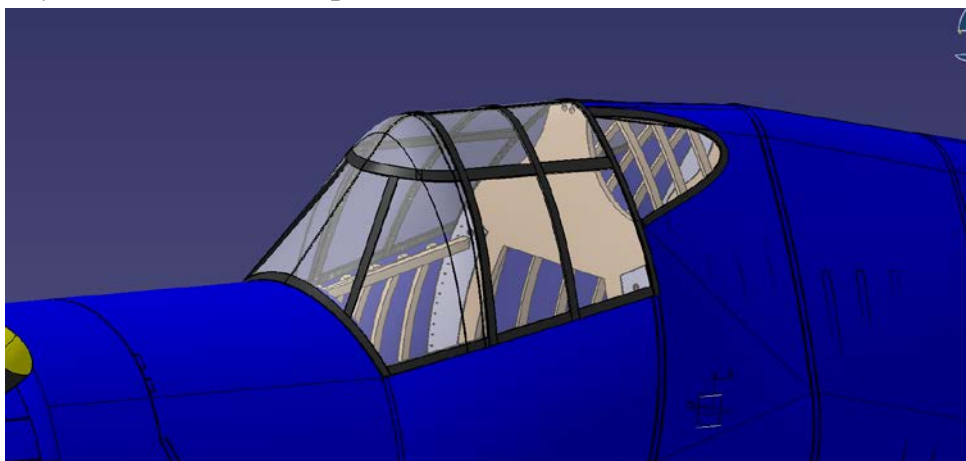
Para la posición del piloto supondremos una postura sentada, colocado en un lugar medio, cercano al panel de instrumentos.

## 12.1 Cabina

El modelado de la cabina se realiza en el módulo de superficies. El modelado es algo tosco, pero solamente aplicamos la herramienta Multi-sections Surface por secciones, para luego crear marcos con la herramienta Sweep. A los marcos le daremos un mayor espesor, de 10 mm, mientras que al vidrio de 6 mm. El grosor de este vidrio es relativamente grueso, debido a que debe resistir pequeños impactos, sobre todo de animales.

Una vez creada la cabina, usaremos la herramienta transparency que encontraremos en propiedades de cada una de las superficies del vidrio, para así dar esa sensación de transparencia.

El vidrio trasero lo hemos modelado siguiendo la base de la cubierta del tramo 3-4 que ya se modeló en el apartado cubierta 3-4.

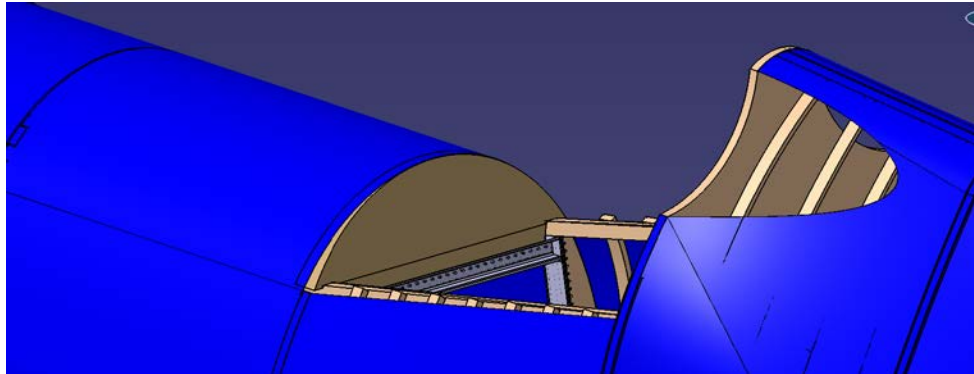


Cabina modelada

El material usado en la cabina es vidrio recocido. Un vidrio que adquiere una gran resistencia al enfriarse lentamente una vez calentado.

## 12.2 Panel de instrumentos

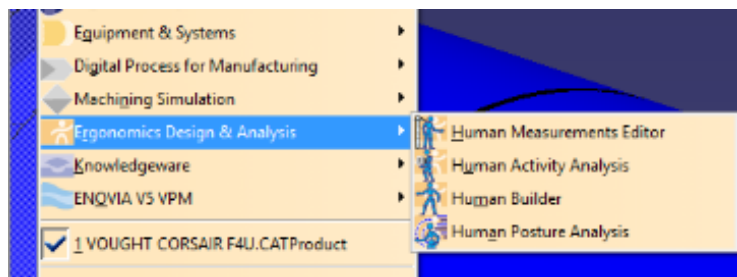
Para el modelado del panel de instrumentos usaremos el hueco existente entre la cubierta y la costilla 2. Colocaremos un plano inclinado donde dibujaremos un sketch que luego extruiremos hasta un plano vertical hasta el otro lado de la viga horizontal que atraviesa la costilla 2. En cada extremo del panel de instrumentos realizaremos dos vaciados para conseguir que este panel encaje en los dos largueros horizontales superiores 2-3 y así facilitar el ensamblaje con el fuselaje.



*Panel de instrumentos modelado*

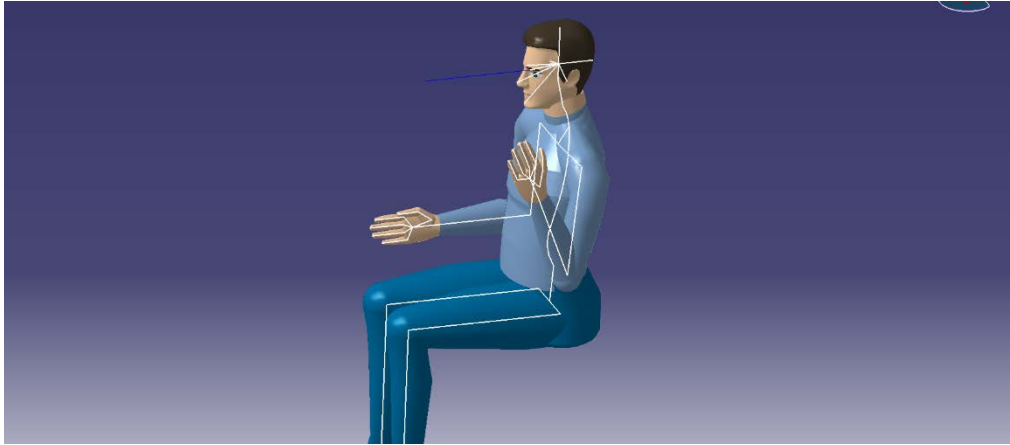
## 12.3 Piloto

Para introducir el piloto en el avión primero tenemos que dirigirnos al módulo de Ergonomic Design and Analysis.



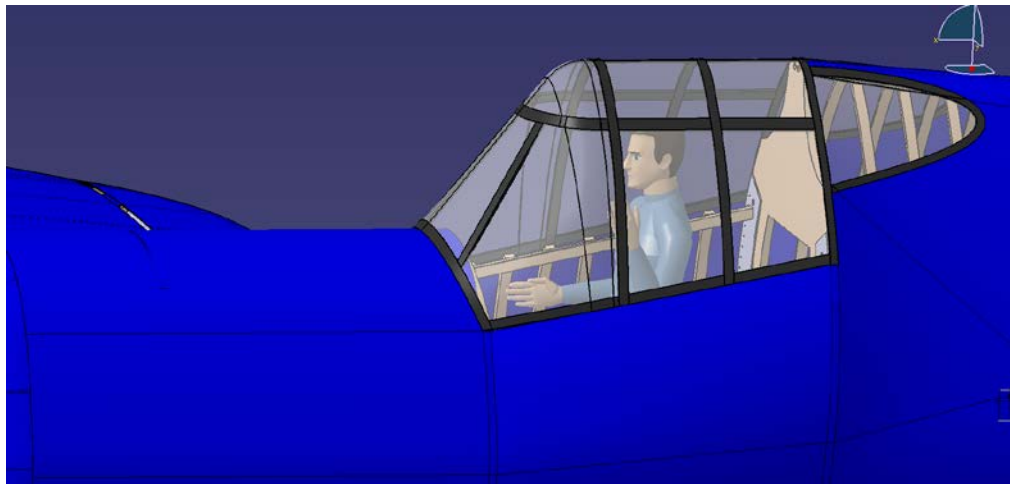
*Módulo de Ergonomía en Catia V5*

Una vez aquí, introducimos el piloto y cambiamos su postura con la herramienta Posture Editor. En esta ventana, podemos mover cada articulación que el ser humano es capaz de mover en cualquier acción cotidiana. En este caso, doblaremos las rodillas, codos y cintura para colocar al manikin sentado. Una vez llevadas a cabo estas operaciones, guardamos el part en una carpeta y en el product de cockpit, introducimos al manikin o piloto en nuestro caso. Por último, solo tenemos que moverlo al interior del cockpit y situarlo en una posición centrada cerca del panel de instrumentos.



*Piloto sentado*

En este momento del proyecto, concluimos el modelado de cada una de las partes del mismo, el cual a ocupado un total de 404 parts. Este elevado número de partes en Catia puede generar incompatibilidades entre piezas y que algunas dimensiones no cuadren. Una forma externa de comprobar que el avión tiene unas dimensiones apropiadas para su uso es la colocación del piloto dentro del cockpit. Como veremos a continuación, el piloto se encuentra totalmente proporcional al tamaño del Vought Corsair F4U monoplaça.



*Cockpit completo*

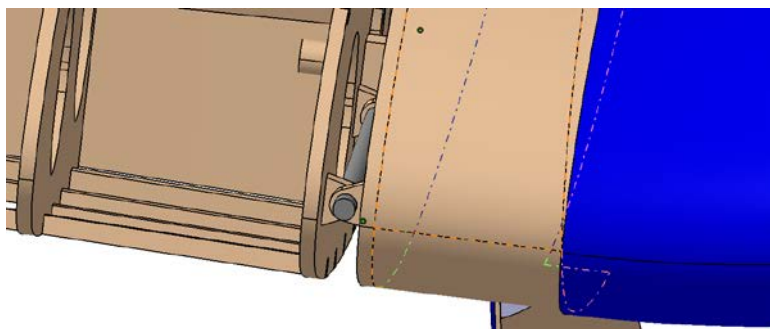
### 13. SISTEMA DE PLEGADO DE LAS ALAS

Aunque el ensamblaje de las superficies de control con el fuselaje no es objeto de este proyecto, si lo es la creación de las partes que serán ensambladas. Todas estas partes han sido modeladas anteriormente, excepto el sistema de plegado de las alas, el cual representa una de las mayores innovaciones de este ejemplar. Sobre este sistema no se tenía información, así que se ha tomado una imagen como referencia, de la que hemos tomado algunas ideas de diseño.



*Maqueta Vought Corsair con alas plegadas*

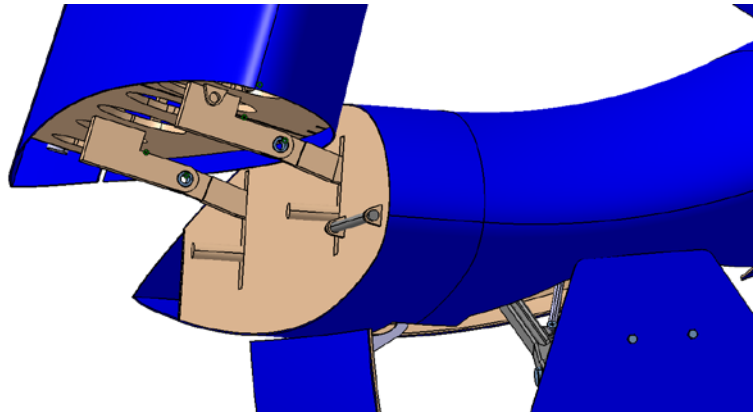
Como se observa, el plegado no es un giro directo de las alas, sino que existe un desplazamiento lineal de alguna pieza que sí contiene la bisagra que sustenta la parte abatible. De esta forma hemos dividido el sistema de plegado en dos: sistema de fijación y sistema abatible. El primero trata de un par de bisagras en la costilla de la panza y cajón lateral que están en contacto. En el momento de máxima extensión, una barra de 30 mm de diámetro debe atravesar dichas orejas para fijar la posición de las alas.



*Barra de fijación*

Por último, crearemos unas bisagras especiales, mas grandes y anchas que de lo normal, para así soportar el peso de las alas, armamento y depósitos que se encuentran en esta zona.





*Sistema de plegado*

Como vemos, son dos bisagras unidas a la costilla del cajón lateral que giran sobre otras bisagras que deslizan dentro de la panza. De esta forma podemos desplazar el centro de rotación hacia fuera y evitar cualquier impacto del cajón lateral con la panza. Los dos cilindros de 30 mm de diámetro inferiores no son más que dos topes que impiden el giro cuando el ala esta extendida.

## 14. TORNILLERÍA USADA

A lo largo del modelado, se han usado una serie de tornillos, pines y tuercas que nos han servido para unir las distintas piezas de nuestro avión. A continuación, se hará una recopilación de todaa esta tornillería dependiendo de la sección en la que se encuentre. La tornillería usada ha sido tomada del catálogo de Catia. Las dimensiones de estas piezas han sido supuestas en algunos casos, mientras que en otros se han tomado medidas reales vistas en los planos.

ISO 8752 PIN 5x14 STEEL	20 UNIDADES
ISO 8752 PIN 10x40 STEEL	3 UNIDADES
ISO 4032 NUT M30 STEEL	1 UNIDAD
ISO 4014 M30x140 STEEL	1 UNIDAD
ISO 4014 M20x80 STEEL	1 UNIDAD
ISO 4034 NUT M20 STEEL	1 UNIDAD

*Tornillería tren trasero*

ISO 4014 M10x45 STEEL	4 UNIDADES
ISO 4034 NUT M10 STEEL	4 UNIDADES

*Tornillería compuertas tren delantero*

ISO 4016 M39x150 STEEL	1 UNIDAD
ISO 4016 M6x30 STEEL	2 UNIDADES
ISO 4034 NUT M6 STEEL	2 UNIDADES
ISO 4034 NUT M24 STEEL	2 UNIDADES
ISO 8675 NUT M14x1.5	2 UNIDADES
ISO 4016 M8x75 STEEL	1 UNIDAD
ISO 4032 NUT M8 STEEL	1 UNIDAD
ISO 4032 NUT M16 STEEL	8 UNIDADES
ISO 10511 NUT M10 STEEL	2 UNIDADES
ISO 4017 SCREW M8x20 STEEL	2 UNIDADES
ISO 4017 SCREW M8x16 STEEL	2 UNIDADES
ISO 8752 PIN 3x10 STEEL	4 UNIDADES
ISO 4014 M10x60 STEEL	4 UNIDADES
ISO 8675 NUT M10x1.25 STEEL	4 UNIDADES
ISO 4762 SCREW M16x45 STEEL	8 UNIDADES
ISO 8752 PIN 6x45 STEEL	2 UNIDADES
ISO 7046 SCREW M10x16-H STEEL	2 UNIDADES
ISO 7046 SCREW M10x30-H STEEL	2 UNIDADES
ISO 8734 PIN 6x45 STEEL	1 UNIDAD

*Tornillería del mecanismo de arrastre del tren delantero*

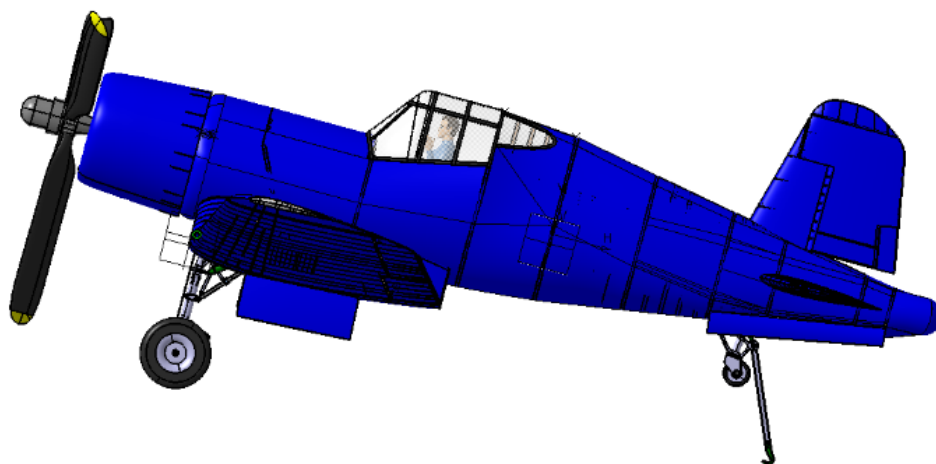
ISO 8734 PIN 8x30 STEEL	6 UNIDADES
ISO 8734 PIN 8x80 STEEL	2 UNIDADES
ISO 4017 SCREW M20x50 STEEL	3 UNIDADES
ISO 8675 NUT M20x2 STEEL	3 UNIDADES
ISO 4016 BOLT M10x70 STEEL	2 UNIDADES
ISO 4032 NUT M27 STEEL	2 UNIDADES

*Tornillería conjunto suspensión tren delantero.*

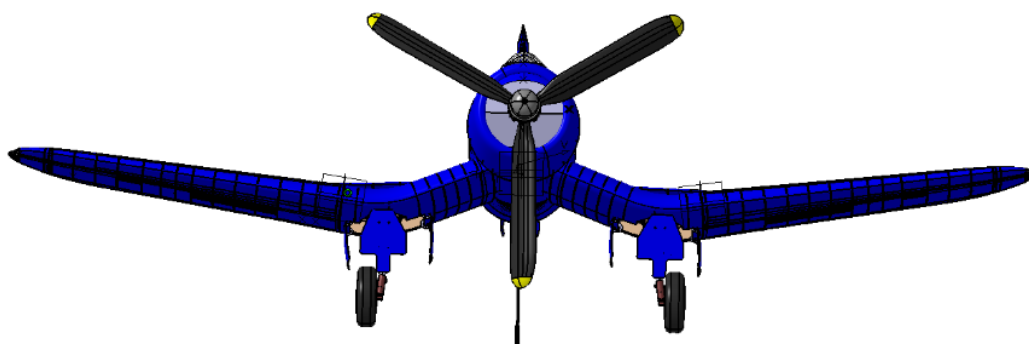
ISO 8752 PIN 30x35 STEEL	2 UNIDADES
--------------------------	------------

*Tornillería del sistema de plegado de las alas*

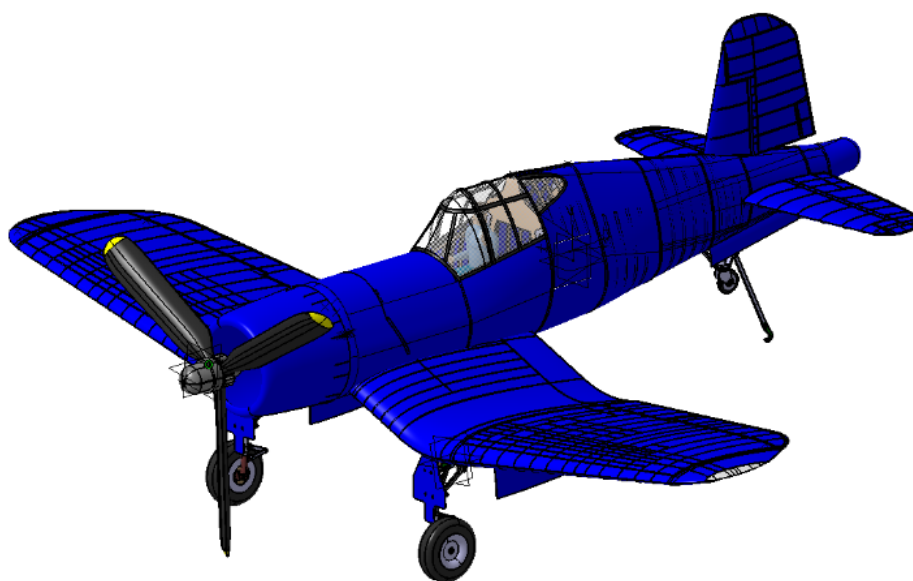
## 15. RESULTADO FINAL



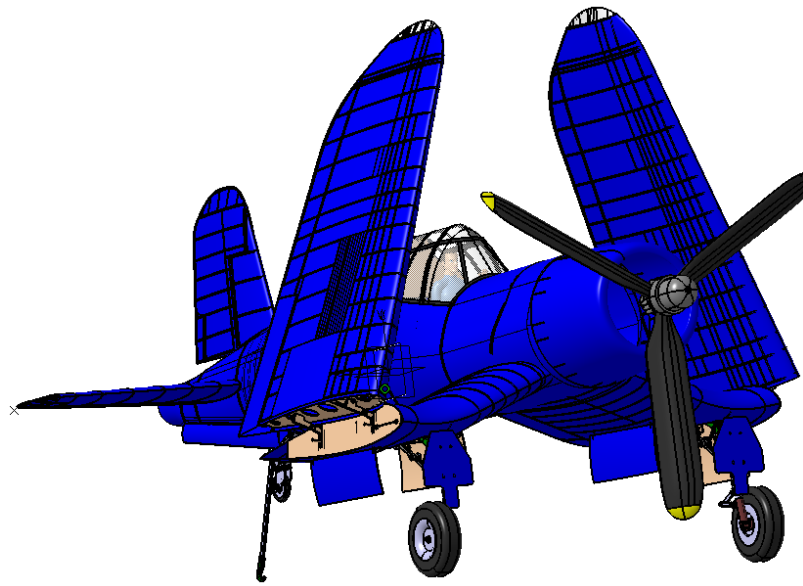
*Perfil Vought Corsair F4U*



*Alzado Vought Corsair F4U*



*Perspectiva Vought Corsair F4U*



*Vought Corsair con alas plegadas*

## 16. CONCLUSIONES DEL PROYECTO

Como se mencionó en el apartado 2 ‘objeto del proyecto’, el modelado de este avión es trabajo de un equipo de ingenieros de diferentes disciplinas. Mi especialidad de mecánica-máquinas me ha proporcionado la capacidad de intuir sistemas mecánicos que accionan los movimientos que tienen lugar en este avión. Este proyecto ha supuesto una ampliación en mis conocimientos sobre el software Catia V5, un programa de gran utilidad en la industria aeroespacial y del automóvil. Además, ha sido un aliciente poder disponer de tan buena información sobre un dispositivo antiguo. La labor de búsqueda e investigación de la documentación ha sido interesante, con la que he mejorado mis nociones de investigación. Toda la información que he usado está a total disposición de cualquier otro estudiante que quiera continuar este modelado y recreación en cualquiera de los siguientes aspectos:

1. Modelado del ensamblaje de las superficies de control con el fuselaje.
2. Modelado de los sistemas mecánicos accionados por el piloto que controlen superficies de control, trenes de aterrizaje, armamento, etc.
3. Estudio en software de elemento finito de las dimensiones de este caza y su optimización con la tecnología actual.
4. Recreación o modernización del sistema eléctrico.
5. Modelado de la red hidráulica que acciona los diferentes sistemas.
6. Modelado del motor de explosión y todas sus partes auxiliares.

Por descontado, cualquier parte modelada en este proyecto es subcectible de ser mejorada o modificada para el modelado de futuros sistemas o mecanismos en otros proyectos.

## **17. RELACIÓN DE PIEZAS MODELADAS**

La designación tomada en esta lista indica al apartado del trabajo al que pertenece y coincide con su designación tanto en el archivo CAD como el orden en el que se ha ido modelando en el proyecto. El cajón lateral, el tren de aterrizaje delantero, el estabilizador vertical y el timón de profundidad solo se reflejarán en esta lista una sola vez, recalcando que se encuentran por duplicado en el modelo.

### **7. FUSELAJE PRINCIPAL**

#### **7.1 COSTILLA 6**

7.1.1 MARCO 6

7.1.2 ESCUADRA SUPERIOR TRASERA 6

7.1.3 ESCUADRA SUPERIOR DELANTERA 6

7.1.4 ESCUADRA DE ENCAJE 6

7.1.5 ESCUADRA DE SOPORTE 6

7.1.6 ESCUADRAS A MEDIA ALTURA 6

#### **7.2 COSTILLA 4**

7.2.1 MARCO 4

7.2.2 REFUERZO DELANTERO 4

7.2.3 REFUERZO TRASERO 4

#### **7.3 COSTILLA 3**

7.3.1 MARCO 3

7.3.2 REFUERZO DELANTERO 3

7.3.3 REFUERZO TRASERO 3

#### **7.4 COSTILLA 5**

7.4.1 MARCO 5

7.4.2 REFUERZO DELANTERO 5

7.4.3 REFUERZO TRASERO 5

7.4.4 REFUERZO SUPERIOR TRASERO 5

7.4.5 REFUERZO SUPERIOR DELANTERO 5

#### **7.5 COSTILLA 7**

7.5.1 MARCO 7

7.5.2 REFUERZO TRASERO 7

7.5.3 REFUERZO DELANTERO 7

#### **7.6 COSTILLA 8**

7.6.1 MARCO 8

7.6.2 REFUERZO TRASERO 8  
7.6.3 REFUERZO DELANTERO 8

## **7.7 CONJUNTO CONO**

7.7.1 MARCO CONO  
7.7.2 REFUERZO FINAL

## **7.8 COSTILLA 2**

7.8.1 MARCO 2  
7.8.2 VIGA DE REFUERZO 2  
7.8.3 VIGA SUPERIOR 2  
7.8.4 MARCO INFERIOR 2  
7.8.5 REFUERZO INFERIOR 2

## **7.9 COSTILLA 1**

7.9.1 MARCO 1  
7.9.2 REFUERZO DE MADERA  
7.9.3 REFUERZO TRASERO METALICO  
7.9.4 VIGAS SUPERIORES  
7.9.5 SOPORTE

## **7.10 LARGUEROS HORIZONTALES**

7.10.1 LARGUEROS HORIZONTALES 5-6  
7.10.2 LARGUEROS HORIZONTALES 6-7  
7.10.3 LARGUEROS HORIZONTALES 7-8  
7.10.4 LARGUEROS HORIZONTALES 8-CONJUNTO CONO  
7.10.5 LARGUEROS HORIZONTALES 4-5  
7.10.6 LARGUEROS HORIZONTALES 3-4  
7.10.7 LARGUEROS HORIZONTALES 2-3  
7.10.8 LARGUEROS HORIZONTALES 1-2

## **7.11 LARGUEROS VERTICALES**

7.11.1 LARGUEROS VERTICALES 4-5  
7.11.2 LARGUEROS VERTICALES 5-6  
7.11.3 LARGUEROS VERTICALES 6-7  
7.11.4 LARGUEROS VERTICALES 7-8  
7.11.5 LARGUEROS VERTICALES 3-4

## **8. CUBIERTA**

### **8.1 CUBIERTA FUSELAJE**

8.1.1 CONO  
8.1.2 CUBIERTA 8-CONO  
8.1.3 CUBIERTA 7-8  
8.1.4 CUBIERTA 6-7



- 8.1.5 CUBIERTA 5-6
- 8.1.6 CUBIERTA 4-5
- 8.1.7 CUBIERTA 3-4
- 8.1.8 CUBIERTA 2-3
- 8.1.9 CUBIERTA 1-2

## **9. SUPERFICIES DE CONTROL**

### **9.1 CAJON LATERAL O ALA**

- 9.1.1 CUBIERTA CAJON LATERAL
- 9.1.2 ESTRUCTURA ABATIBLE
- 9.1.3 LARGUEROS DE UNION
- 9.1.4 SUELO ESTRUCTURA ABATIBLE

### **9.2 FLAP 1**

- 9.2.1 ESTRUCTURA FLAP 1
- 9.2.2 CUBIERTA FLAP 1
- 9.2.3 SISTEMA DE ROTACION FLAP 1

### **9.3 ALERON**

- 9.3.1 ESTRUCTURA ALERON
- 9.3.2 CUBIERTA ALERON
- 9.3.3 SISTEMA DE ROTACION ALERON

### **9.4 PANZA**

- 9.4.1 CUBIERTA PANZA
- 9.4.2 ESTRUCTURA PANZA

### **9.5 ESTABILIZADOR VERTICAL**

- 9.5.1 CUBIERTA ESTABILIZADOR VERTICAL
- 9.5.2 ESTRUCTURA ESTABILIZADOR VERTICAL

### **9.6 TIMON DE DIRECCION**

- 9.6.1 CUBIERTA TIMON DE DIRECCION
- 9.6.2 ESTRUCTURA TIMON DE DIRECCION
- 9.6.3 SISTEMA DE ROTACION TIMON
  - 9.6.3.1 EJE DE ROTACION
  - 9.6.3.2 ROSCA SUPERIOR
  - 9.6.3.3 ROSCA INFERIOR
- 9.6.4 ALETA TIMON
  - 9.6.4.1 ESTRUCTURA ALETA TIMON
  - 9.6.4.2 CUBIERTA ALETA TIMON
  - 9.6.4.3 SISTEMA DE ROTACION ALETA TIMON
    - 9.6.4.3.1 EJE ALETA TIMON
    - 9.6.4.3.2 ABRAZADERA SUPERIOR ALETA TIMON
    - 9.6.4.3.3 ABRAZADERA INFERIOR ALETA TIMON

### **9.7 ESTABILIZADOR HORIZONTAL**

9.7.1 CUBIERTA ESTABILIZADOR HORIZONTAL

9.7.2 ESTRUCTURA ESTABILIZADOR HORIZONTAL

## **9.8 TIMON DE PROFUNDIDAD**

9.8.1 CUBIERTA TIMON DE PROFUNDIDAD

9.8.2 ESTRUCTURA TIMON DE PROFUNDIDAD

9.8.3 SISTEMA DE ROTACION TIMON DE PROFUNDIDAD

9.8.4 ALETA ELEVADOR

9.8.4.1 ESTRUCTURA ALETA ELEVADOR

9.8.4.2 CUBIERTA ALETA ELEVADOR

9.8.4.3 SISTEMA DE ROTACION ALETA ELEVADOR

9.8.4.3.1 EJE ALETA ELEVADOR

9.8.4.3.2 ABRAZADERA INFERIOR ALETA ELEVADOR

9.8.4.3.3 ABRAZADERA SUPERIOR ALETA ELEVADOR

## **10. TREN DE ATERRIZAJE**

### **10.1 TREN DELANTERO**

#### **10.1.1 MECANISMO DE ARRASTRE**

10.1.1.1 ENLACE INFERIOR

10.1.1.2 ENLACE SUPERIOR

10.1.1.3 EJE SUPERIOR

10.1.1.4 BISAGRAS

10.1.1.5 TENSORES

10.1.1.6 BRIDA

10.1.1.7 ESPARRAGO ROSCADO

10.1.1.8 COGIDAS PROTECTOR

10.1.1.9 HORQUILLA ACTUADOR

10.1.1.10 ACTUADOR TELESCOPICO

10.1.1.11 PISTON GRUESO

10.1.1.12 PISTON FINO

10.1.1.13 PLACA PROTECTORA

10.1.1.14 ESLABON MENOR

10.1.1.15 ESLABON MAYOR

10.1.1.16 COGIDA ESLABON MAYOR

10.1.1.17 ESLABON ELASTICO

10.1.1.18 MUELLE INFERIOR

10.1.1.19 MUELLE SUPERIOR

#### **10.1.2 CONJUNTO NEUMATICO**

10.1.2.1 CAMISA

10.1.2.2 PISTON

10.1.2.3 RETEN

10.1.2.4 SELLADOR ROSCADO

10.1.2.5 JUNTA

10.1.2.6 EJE

10.1.2.7 TUERCA

10.1.2.8 NEUMATICO

10.1.2.9 LLANTA

10.1.2.10 PASADOR

10.1.2.11 DISCO DE FRENO

10.1.2.12 TIJERAS

10.1.2.13 ABRAZADERA ROSCADA

10.1.2.14 ABRAZADERA CON TORNILLOS

### **10.1.3 COMPUERTAS TREN DELANTERO**

10.1.3.1 COMPUERTA IZQUIERDA

10.1.3.2 COMPUERTA DERECHA

## **10.2 TREN TRASERO**

### **10.2.1 MECANISMO TREN TRASERO**

10.2.1.1 HORQUILLA TRASERA

10.2.1.2 NEUMATICO-LLANTA

10.2.1.3 GARFIO

10.2.1.4 CAMISA ACCIONADOR

10.2.1.5 PISTON ACCIONADOR

10.2.1.6 AMORTIGUADOR TRASERO

10.2.1.7 BARRA FIJA

### **10.2.2 COMPUERTAS TREN TRASERO**

10.2.2.1 COMPUERTA IZQUIERDA

10.2.2.2 COMPUERTA DERECHA

## **11. GRUPO MOTOR**

11.1 HELICE

11.2 CARENADO

11.3 CONO HELICE

11.4 PIÑON

11.5 CREMALLERA

## **12. COCKPIT**

12.1 CABINA

12.2 PANEL DE INSTRUMENTOS

12.3 PILOTO

## 18.BIBLIOGRAFÍA

Ian, coleccionista de Lanchester. *Planos de del Vought Corsair F4U*.  
<http://fighter-plane-blueprints-plans.co.uk/Sales-List-Inventory-Aircraft.php>

Teniente Primero MO Chance. *Imagen detallada del cockpit*.  
<http://www.f4ucorsair.com/tdata/blueprints.html>

Craig McBurney. Club de restauración de Vought Corsair en Connecticut.  
*Información sobre modelado e historia del caza*. <http://www.connecticutscorsair.com>

*Museos que tienen Corsair en propiedad en el mundo*.  
<http://f4ucorsair.tripod.com/srvivr.html>

Michael Brown. *Vistas del exterior del Vought Corsair F4U*.  
<http://www.the-blueprints.com/blueprints/ww2planes/ww2-vought>

*Foro para aficionados del caza Vought Corsair*.  
<http://interdefensa.argentinaforo.net/t5000-chance-vought-f4u-corsair>

*Perfiles NACA según modelo*.  
<http://cach.cl/foroSMF/index.php?topic=30592.55;wap2>

*Generador de perfiles NACA de 4 dígitos*.  
<http://www.airfoiltools.com/search/airfoils?m=a>

Responsable de la asignatura de cálculo de aviones de la Universidad  
Politécnica de Madrid. *Cálculo de aviones 2*.  
<http://servidor-da.aero.upm.es/wip/apuntes/quinto/calculo-de-aviones/CA2.pdf>

Alejandro Rodríguez Fernández. *Diseño de una avioneta básica con Catia V5*.  
<http://arfingenieria.com/ingenieria/disenio-avioneta-catia-v5.html>

Chtivenol. *Foto en detalle del sistema de plegado de las alas*.  
<http://www.fond-ecran-image.com/galerie-membre,maquette,corsair-u1djpg.php>

Sergio Esteban Roncero. *Tema 5. Aerodinámica. Introducción a los perfiles NACA*.  
[http://www.aero.us.es/adesign/Slides/Extra/Aerodynamics/Tema\\_05.1\\_Extra\\_Introducci%C3%B3n\\_Perfiles\\_NACA.pdf](http://www.aero.us.es/adesign/Slides/Extra/Aerodynamics/Tema_05.1_Extra_Introducci%C3%B3n_Perfiles_NACA.pdf)

Barrett Tillman. *Vought F4U Corsair – WardbirdTech Vol 4*.  
<https://books.google.es/books?id=0cBnBwAAQBAJ&pg=PA10&lpg=PA10&dq=NACA+propeller+corsair&source=bl&ots=7q0yNvkRVu&sig=NgjEpJjHtT-Lm28m39W4c6QcqYc&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiepJXFjNjNAhWKD8AKHafcCcUQ6AEIVjAG#v=onepage&q=NACA%20propeller%20corsair&f=false>

Y. Yang, D. Ragni, L. Veldhuis, G. Eitelberg. *Propeller Induced Ground Vortex*.  
[http://www.icas.org/ICAS\\_ARCHIVE/ICAS2012/PAPERS/564.PDF](http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2012/PAPERS/564.PDF)

